

第159研究部会

新経済船型開発のための船尾まわりの 流場に関する研究

報 告 書

昭和54年3月

社 団 法 人

日 本 造 船 研 究 協 会

船尾が肥厚した模型船の自航試験時における不安定現象の実態を解明して、実船性能の推定精度向上を図るために、大型模型船による水槽試験を通して船尾フレームライン形状の影響、試験状態の影響、流場凍結法の自航試験への適用の可能性、模型船・実船の相関関係等の検討を行なった。

また、船尾まわりの流場を船尾形状を種々変更した小型模型船の水槽試験時に観察し、不安定流場発生機構の解明を行なった。

今年度は本研究の最終年度であるため、これまでの結論として、不安定現象の発生機構に関する総括を行ない、不安定現象の流場モデルの例を示した。

目 次

1. 緒 言	1
2. 委 員 会	2
2.1 委員構成	2
2.2 委員会開催状況	3
2.3 配付資料	4
3. 大型模型船による自航試験法に関する研究	7
3.1 まえがき	7
3.2 不安定現象に対する船尾フレームライン形状の影響	8
3.2.1 まえがき	8
3.2.2 模 型 船	8
3.2.3 試験状態等	8
3.2.4 試験結果および考察	8
3.2.5 結 言	9
3.3 試験状態と不安定現象の関係調査	18
3.3.1 まえがき	18
3.3.2 模型船および試験状態	18
3.3.3 試験結果および考察	18
3.4 流場凍結法の自航試験への適用	23
3.4.1 緒 言	23
3.4.2 試験計画の要点	23
3.4.3 試験の概要	24
3.4.4 考 察	25
3.4.5 結 言	25
3.5 自航試験における不安定現象の尺度影響に関する考察	36
3.5.1 はじめに	36
3.5.2 試 験	36
3.5.3 結 言	40
3.6 模型船・実船の相関関係の統計的調査	57
3.6.1 本調査の目的	57
3.6.2 相関解析	58
3.6.3 本解析のまとめ	60
3.7 不安定現象が発生する模型船の自航試験法についての考察	67
3.8 ま と め	69
4. 船尾まわり流場の調査	70
4.1 まえがき	70
4.2 4 m模型船による実験と考察	70

4.2.1 53年度船型による研究	70
(1) 供試模型および試験項目	70
(2) 実験結果および考察	70
4.2.2 51年度船型による追加研究	84
(1) 5孔管によるプロペラ面内の伴流の計測	84
(2) 5孔管によるプロペラ前方の流場の計測	84
(3) プロペラ荷重変更試験	84
(4) 船尾流場の観測	85
4.3 2m模型船による実験と考察	98
4.3.1 まえがき	98
4.3.2 船型変更試験	98
(1) 供試模型船	98
(2) 試験状態	99
(3) 実験方法および実験装置	99
(4) 実験結果および考察	99
4.3.3 境界層制御試験(ビルジ渦吸取り試験)	140
(1) 供試模型船	140
(2) 試験状態	140
(3) 実験装置および実験方法	140
(4) 実験結果および考察	141
4.4 まとめ	156
5. 不安定現象の発生機構に関する総括的考察	157
5.1 提出された資料の概要	157
(1) 不安定現象についての実験事実	157
(2) 非対称流場の発生について	159
(3) 非対称流場の転位について	160
(4) 船型との関連性について	160
5.2 不安定現象の流場モデル	165
5.2.1 不安定現象のあらすじ	165
5.2.2 流場モデル	165
6. 結言	172

1. 緒 言

本研究部会も本年度が最終年度の4年目になる。過去3年間、第1小委員会は大型模型船による自航試験法を、又第2小委員会は船尾まわり流場の調査を、更に初めの2年間のみ第3小委員会が組織され実船実験関係の調査を、それぞれ研究題目として研究を進めてきた。その結果、船尾が肥えた模型の自航試験における不安定現象の概略がようやく明らかになってきつつある。例えば第1小委員会関係では、同一模型、同一試験状態では水槽間で不安定現象の発現状況は同一であること、大型模型でも現象の特性は中小型模型とほぼ同様であり、又時には尺度影響を示すようなデータも得られることなどが明らかとなった。一方第2小委員会の結果によれば、不安定現象は剥離寸前の流場が素地になり、それにプロペラ吸引力が引金として作用することにより発生すること、又それが船型、載荷状態、荷重度に密接に関係していることなどが明確になった。

しかしながら現象の把握が十分でなく、妥当な説明の出来ない問題点も残っている。例えば実船での発生の有無の確認、模型試験結果の外挿法、流場の微細構造、特に潮目の構造、ビルジ溜の役割、船型との関連など、重要な項目でありながら説明のつかない事柄が残されており、これらを解決することを目標として本年度の研究を実施することとした。たゞ本年度は造船界の深刻な状況のため予算面で非常に厳しいものがあり、その点では必ずしも研究態勢は十分ではないが、その制約内で出来る限りの工夫と努力を払いながら研究計画を進めることとした。

以下順を追って本年度の成果を報告する。

2. 委員会

2.1 委員構成

2.1.1 委員会

(敬称略、順不同)

部会長	笛島秀雄(鉄鋼短期大学)	乾崇夫(東京大学)
委員	矢崎敦生(造船技術センター)	梶谷尚(東京大学)
	田古里哲夫(東京大学)	波多野修次(広島大学)
	丸尾孟(横浜国立大学)	山崎隆介(九州大学)
	仲渡道夫(広島大学)	鈴木敏夫(大阪大学)
	田中一朗(大阪大学)	田中拓(船舶技術研究所)
	姫野洋司(大阪府立大学)	田村欣也(三菱重工業)
	川口昇(三菱重工業)	岸本修(三井造船)
	藤田孝(三菱重工業)	田崎亮(石川島播磨重工業)
	田中稔(石川島播磨重工業)	高木又男(日立造船)
	城野隆史(日立造船)	須藤正信(日本钢管)
	岡本洋(川崎重工業)	永松秀一(住友重機械工業)
	富山毅(日本钢管)	久田靖二(函館ドック)
	山崎芳嗣(佐世保重工業)	滋野正明(佐野安船渠)
	桑原昭夫(大阪造船所)	渡辺豊徳(三保造船所)
	梁井泉(来島ドック)	佐藤和範(造船技術センター)
	須藤彰一(明石船型研究所)	
	高橋通雄(神戸製鋼所)	

(*印:幹事)

2.1.2 小委員会

(1) 第1小委員会(自航試験法、実船推進性能)

(敬称略、順不同)

主査	田村欣也(三菱重工業)	川上善郎(船舶技術研究所)
委員	乾崇夫(東京大学)	仲渡道夫(広島大学)
	田中一朗(大阪大学)	山崎禎昭(石川島播磨重工業)
	藤田孝(三菱重工業)	須藤彰一(明石船型研究所)
	城野隆史(日立造船)	須藤正信(日本钢管)
	佐藤和範(造船技術センター)	荻野繁之(佐野安船渠)
	山崎芳嗣(佐世保重工業)	

(2) 第2小委員会(船尾流場、抵抗成分分離)

(敬称略、順不同)

主査	田中一朗(大阪大学)	波多野修次(広島大学)
委員	丸尾孟(横浜国立大学)	山崎隆介(九州大学)
	仲渡道夫(広島大学)	梶谷尚(東京大学)
	田古里哲夫(東京大学)	田中拓(船舶技術研究所)
	鈴木敏夫(大阪大学)	田村欣也(三菱重工業)
	姫野洋司(大阪府立大学)	

藤田 孝(三菱重工業)	並松 正明(石川島播磨重工業)
富山 毅(日本钢管)	岸本 修(三井造船)
城野 隆史(日立造船)	坂尾 稔(川崎重工業)
田中 陽(明石船型研究所)	佐藤 和範(船造技術センター)
山崎 芳嗣(佐世保重工業)	高木 又男(日立造船)

2.1.3 討議参加者

(1) 委員会

川上 善郎(船舶技術研究所)
山崎 祐昭(石川島播磨重工業)
佐々木 紀幸(住友重機械工業)
小倉 理一(佐世保重工業)
藤本 留男(日立造船)

(2) 第1小委員会・第2小委員会合同委員会

篠島 秀雄(鉄鋼短期大学)
木下 健(横浜国立大学)
矢崎 敦生(造船技術センター)
茂里 一紘(広島大学)
永松 宣雄(川崎重工業)
福田 和広(三井造船)

渡辺 茂雄(住友重機械工業)
田中 陽(明石船型研究所)
芦立 煉(日本钢管)
北沢 孝宗(日立造船)

(敬称略、順不同)
小丸 捧(明石船型研究所)
藤本 留男(日立造船)
北沢 孝宗(日立造船)
石橋 賢諭(日本钢管)
芦立 煉(日本钢管)
小倉 理一(佐世保重工業)

2.2 委員会開催状況

2.2.1 委員会

第13回 5.3.6.6(火) 13.00~16.40

大阪大学

- 予算配分
- 研究計画審議
- 船型の決定
- 研究進捗状況報告

第14回 5.3.12.22(金) 10.30~16.40

造船振興財団

- 研究進捗状況報告
- 研究報告書の作成方針

第15回 5.4.2.21(水) 10.30~17.00

海運会館

- 研究報告書原稿審議

2.2.2 第1小委員会・第2小委員会合同委員会

第7回 5.3.4.21(金) 14.00~17.00

海運会館

- 研究計画審議
- 総合解析関連資料審議

第8回 5.3.7.28(金) 13.30~17.00

造船振興財団

- 研究進捗状況報告

- 線図の検討
 - 研究計画審議
- 第 9 回 5 3. 1 0. 1 7 (火) 1 3. 3 0 ~ 1 7. 0 0 日立造船
- 研究進捗状況報告
 - 流場モデル検討
- 第 10 回 5 4. 2. 1 3 (火) 1 1. 0 0 ~ 1 7. 0 0 大阪大学
- 船尾不安定現象説明シナリオの審議

2.3 配布資料

2.3.1 委員会資料

第 13 回

- | | | |
|-----|-----------------------------|-----------|
| (1) | S R 1 5 9 昭和 5 3 年度船型計画について | (田 村) |
| (2) | 昭和 5 3 年度模型の船型について | (田中・鈴木) |
| (3) | S R 1 5 9 昭和 5 3 年度研究計画 改訂案 | (田古里) |
| (4) | 推力変動の激しい肥型模型船の操縦性試験 | (田古里 他) |
| (5) | S R 1 5 9 資料 不安定発生の船尾流場模型 | (笹 島) |

第 14 回

- | | | |
|------|--------------------------|-------------|
| (1) | 船尾フレームラインの影響 | (川 上) |
| (2) | 試験状態と不安定流場との関係調査 | (") |
| (3) | 「流場凍結法」の自航試験への適用 | (ASMB 須藤) |
| (4) | 実船 - 模型船相關の解析 | (佐 藤) |
| (5) | 4 m 模型船自航試験結果 | (丸 尾) |
| (6) | 船尾流場の観察と自航試験結果について | (波多野、茂里) |
| (7) | プロペラ前方の流場におけるプロペラの影響 | (波多野) |
| (8) | 2 m 模型試験中間報告 | (田古里) |
| (9) | 自航試験における不安定現象の尺度影響に関する実験 | (鋼 管) |
| (10) | 第 1 小委員会関係報告書作成案 | (田 村) |
| (11) | 第 2 小委員会関係原稿目次案 | (阪大田中) |

第 15 回

- | | | |
|------|---|-------------|
| (1) | 大型模型船による自航試験法の研究 まえがき | (田 村) |
| (2) | 不安定現象に対する船尾フレームライン形状の影響、試験状態と
不安定現象の関係調査 | (川 上) |
| (3) | 流場凍結法の自航試験への適用 | (ASMB 須藤) |
| (4) | 自航試験における不安定現象の尺度影響に関する考察(追加) | (芦 立) |
| (5) | 不安定現象が発生する模型船の自航試験法についての考察 | (田 村) |
| (6) | 大型模型船による自航試験法の研究 まとめ | (田 村) |
| (7) | 船尾まわり流場の調査 まえがき | (阪大田中) |
| (8) | 昭和 5 1 年度船型による追加研究 | (波多野、茂里) |
| (9) | 2 m 模型船による実験と考察のまえがき、船型変更試験 | (田古里) |
| (10) | 境界層制御試験 | (") |

- (11) 不安定現象の発生機構に関する総括的考察(案) (阪大田中、鈴木)
 (12) 昭和53年度船型による研究 (丸尾)

2.3.2 第1小委員会・第2小委員会合同委員会資料

第 7 回

- (1) 「船舶の省エネルギー対策に関する研究」事業計画書 (造研)
 (2) S R 1 5 9 昭和53年度研究費一覧表 ("")
 (3) 研究の遂行要領について ("")
 (4) 第1小委員会昭和53年度研究計画 (田村)
 (5) 「流場凍結法」の自航試験への適用に関する調査 (ASMB)
 (6) 昭和53年度研究計画案 (田古里)
 (7) 昭和53年度試験方案(一翼動力計による推力変動等の計測) (藤田)
 (8) 船尾流場ノート(5) 不均一流中のプロペラ誘導速度について (阪大田中)
 (9) 自航不安定現象に関する考察 (姫野)
 (10) Study on the Structure of Ship Vortices
 Generated by Full Sterns (船研田中)

第 8 回

- (1) 予算削減措置に関する経過報告 (造研)
 (2) 試験状態と不安定流場との関係調査 (川上)
 (3) 昭和51年度船型4m模型の船尾流場の観測(中間報告) (波多野)
 (4) 不安定発生の船尾流場模型(改) (笹島)
 (5) 船尾フレームライン形状 (川上)
 (6) 昭和53年度研究計画案 ("")
 (7) 流場凍結実験試験計画案 (ASMB)
 (8) 4m模型船による船尾まわりの流場調査について (阪大)

第 9 回

- (1) 15th ITTC Performance Committee Report 抜粋 (田村)
 (船尾の不安定流場)
 (2) 「流場凍結法」の自航試験への適用 (ASMB)
 (3) 4m模型船実験方案 (横大)
 (4) 2.5m、6m模型船および実船試験結果の比較 (鋼管)
 (5) "不安定"流場モデルまとめの一つの提案 (船研田中)
 (6) 船尾フレームラインの影響(中間報告) (川上)

第 10 回

- (1) 2m模型船による実験と考察 (田古里)
 (2) 境界層制御実験 ("")
 (3) 昭和51年度模型船による船尾流場の観察結果について (波多野、茂里)
 (4) 潮目付近の流場計測例 (ASMB 須藤)
 (5) 昭和50年度船型7m模型船持ちまわり自航試験結果(50~51年度) (田村)

- (6) 船尾流場のモデルについて (阪大田中、鈴木)
- (7) シナリオ検討に当っての疑問点 (ASMB 須藤)
- (8) 非対称流場および不安定流場発生原因に関する一考察 (田 村)
- (9) 肥大船の不安定現象説明 Scenario 作成要領(案) (船研田中)
- (10) 自航試験の不安定現象の機構(案) (田古里)

3. 大型模型船による自航試験法に関する研究

3.1 まえがき

肥大船の自航試験時に発生する船尾流場の不安定現象は、単に自航試験の精度低下をもたらすだけではなく、自航試験結果の解釈や、実船性能の推定に大きな困難な問題をもたらしている。したがって、実船性能の推定を任務とする大水槽にとっては、

- 1) 実船においてもこのような不安定現象が発生しているかどうか、また発生しないとするならば、実船に対応する模型船流場は何かを明らかにする。
- 2) 自航試験に際して現われる不安定現象の実態を把握して、その識別法を調査し、このような不安定現象を発生しやすい船型に対する自航試験法を見出す。

ことが重要である。

以上の目的から、本研究部会が編成されて活動を開始した昭和50年以降、次表に示すような研究を実施してきた。

	自航試験法の研究	実船の推進性能の研究
昭和50年度	<ul style="list-style-type: none">○ 持ちまわり自航試験の計画○ 持ちまわり自航試験実施（その1）	
昭和51年度	<ul style="list-style-type: none">○ 持ちまわり自航試験実施（その2）○ プロペラ前後位置の影響調査○ 舵の有無の影響調査○ 相似模型船の自航試験結果	<ul style="list-style-type: none">○ アンケート調査実施
昭和52年度	<ul style="list-style-type: none">○ 船尾fullnessの影響調査○ プロペラ直径の影響調査○ 各種船型におけるサイドフォースの計測	<ul style="list-style-type: none">○ 供試船（2隻）の選定と、実船試運転乗船観察○ 供試船（1隻）の模型試験実施○ 模型船～実船の相関の調査

本年度は本研究部会の最終年度にあたるため、上記の基本的な研究目的をふまえ、船尾まわりの流場に関する多くの研究成果をも参考として、次に示す研究を実施した。

昭和53年度	<ul style="list-style-type: none">○ 船尾フレームライン形状の影響調査（船舶技術研究所）○ 試験状態と不安定流場との関係調査（船舶技術研究所）○ 流場凍結法の自航試験への適用（明石船型研究所）○ 尺度影響に関する実験（日本鋼管㈱、津研究所）	<ul style="list-style-type: none">○ 模型船～実船の相関々係の統計的調査（日本造船技術センター）
--------	--	---

以下その実施内容および結果を報告し、最後に4年間の研究を通して得られた知見に基づいて、不安定現象が発生する模型船の自航試験法について考察する。

3.2 不安定現象に対する船尾フレームライン形状の影響

3.2.1 まえがき

昭和52年度は、船尾肥大度と不安定現象との関係を調査した。ひきつづいて、今年度は、船尾フレームライン形状が不安定現象におよぼす影響を調べた。

3.2.2 模型船 *

原型(50年度原型、M.S.0248)と主要目および船体前半部の形状を同一とし、船尾フレームライン形状を変化させた2隻の模型船(M.S.0255および0254)について試験した。船尾フレームラインの形状は、4.3に述べられている船尾船型の計画にもとづいており、そのなかの“ θ_L ”船型に相当するのがM.S.0255である。この船型は、51年度船型に対して、船尾フレームラインを満載喫水付近で肥らせた船型であり、その線図作成の要点は次の通りである。

(1) 65%載貨状態の後半部喫水位置のrun

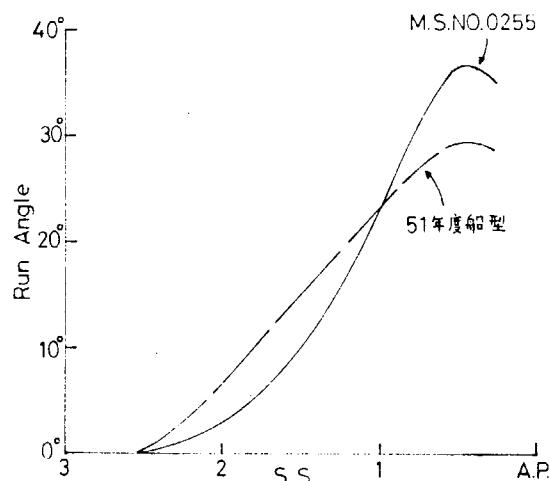
angleを、51年度船型のそれに対して、S.S.1でクロスさせその後方で増加させて最大角度を35°以上にした。このとき、その喫水における平行部後端位置(S.S.2 3/5)は両船型とも同じとした。(右図)

(2) 65%載貨状態の船尾部喫水の1/2以下(約3W.L.よりB.L.までの間)のフレームライン形状は、51年度船型と同じである。

(3) 船尾プロファイル、舵は50年度および51年度船型と同じである。M.S.0254は、上記M.S.0255の船底近くの下半部を削って50年度船型(M.S.0248)と横断面積曲線が同じになる様にした(排水量を同一とした)船型である。ただし、削りおとす下半部とのつながりの関係もあって、65% V_F の喫水位置におけるrun angleは、M.S.0255とは幾分変化が生じた。また、船尾プロファイル、舵は、M.S.0255と同じである。

船体後半部形状をまとめて Fig. 3.2.1に、船体後半部寸法表を Table 3.2.1に示す。

模型プロペラは、前年度使用したものであり、要目を Table 3.2.2に示す。



3.2.3 試験状態等

試験状態は、full、65%および44%の3載貨状態で、それぞれ抵抗および自航試験を行い、さらに、各状態とも、 $F_r = 0.18$ の点で、プロペラ荷重度変更試験を行った。解析の詳細、成績の表現法については、50年度報告書に詳述されている。

試験状態等を Table 3.2.3に示す。

3.2.4 試験結果および考察

抵抗試験の成績を、全抵抗係数 C_{TM} として Fig. 3.2.2に、剩余抵抗係数 C_R として Fig. 3.2.3に、造波抵抗係数 C_W として Fig. 3.2.4に示す。

形状影響係数Kは、50年度原型(M.S.0248)と θ_L 船型(M.S.0255)とは、各状態と

も、ほぼ等しいが、M.S.0254は、すべて低い値を示す。 θ_L 船型の船尾フレームライン形状は原型にくらべ満載喫水付近で肥らせているが、それにもかかわらず、Kはほぼ等しい。また、M.S.0254は、フレームライン形状の変化が、船尾ビルジ部の剝離を減少させたためKの低下を示したものと考えられる。 C_B では、すべての状態において、原型よりも今回の2船型がともに低い値を示すが、とくに、65%載貨状態でM.S.0254が低いのは、この状態でビルジ剝離がもっとも弱かったものであろう。また、 C_W でも、満載状態で3船型がほぼ等しいが、他の2状態では、原型にくらべて今回の2船型は低目である。抵抗試験においては、横力の変動、潮目の移動等の不安定現象はみられなかった。

自航試験結果の無次元表示と自航要素および横力を、各状態ごとに、2船型まとめてFig. 3.2.5に示す。この図より以下のようなことがわかる。

- (1) 不安定現象を、船尾の非対称流場が左右交互に変化する現象、すなわち、自航試験時に、スラストやトルクがともに高い値を示す状態と、低い値の状態とが交互に出現する現象としてとらえると、この現象は、M.S.0255 (θ_L 船型)で非常に顕著に現れた。
- (2) この船型では、65%載貨状態のみならず満載状態においても同様な現象が出現した。
- (3) ふたつの状態の継続する時間が、いままでにない位長くつづいた。(アナログ記録 Fig. 3.2.7 参照)
- (4) 横力の方向は、すでに発表されている多くの結果と同じであるが、それぞれの状態に対応した横力の変化量も大きい。
- (5) ふたつの状態に対応した“潮目”的なうつりかわりも明瞭にみ分けられた。

つぎに、各状態とともに $F_n = 0.18$ の速度で、プロペラ荷重度を変更した自航試験の結果、自航要素と横力をまとめてFig. 3.2.6に示す。これをみると、M.S.0255 (θ_L 船型)の65%載貨状態において、スラスト・トルクの値の高い状態と低い状態のふたつが共存して出現していることがはっきりと認められている。一方M.S.0255より、S.S.1付近を主にその船体下半部(ビルジ部)を大きく削ったM.S.0254では、このような不安定現象はほとんど起っていない。ただ、44%載貨状態において、プロペラ荷重度を増加すると、このような現象が起り得ることがわかった。どちらの状態においても、 $1 - W_t$ の値としては、プロペラ荷重度の増加にしたがって2種類の値が現れるが、さらにプロペラ荷重度を増すと、やがてひとつに収斂するものと考えられる。最後に代表的なアナログ記録の比較をFig. 3.2.7に示す。

3.2.5 結 言

昭和52年度に、船尾形状変更試験として(50年度原型をもとにして) C_B の影響について調査され、不安定現象と船尾肥大度との関係が認められた。今年度、さらに船尾フレームライン形状の影響が調査されたが、その結果、50年度原型にくらべると、船尾フレームライン形状を、満載喫水付近でふくらませ、かつプロペラ前方が肥えたままの船型が、各状態で非常にげしい不安定現象を起していることが認められた。しかし、満載喫水付近はそのままにしておいて、プロペラ前方のみ大きく削り落した船型においては、全然このような現象は現れなかった。このことから、不安定現象の出現に寄与する役割として、プロペラ前方の形状、そのfullnessが大きいことがわかる。しかしながら一方、50年度原型(M.S.0248)との関連づけがまだ十分でなく、この結果船尾のフレームライン形状と不安定現象の結びつきについて、一般的な結論はひき出しへくように思われる。船尾形状の幾何的变化が、不安定現象をどのようにしてひき起こすのかは、まだ十分に原因がつかまえられていない。また、模型船の自航試験の際現れる不安定現象 — 2股現象 — が、どのような船尾模型に対してどの程度現れるかについても、系統的には十分認められていない。

結論的といえば、現象の解明への手がかりは未だ不十分のように見られるが、4年間にわたった本研究

から、5水槽持ちまわり試験による現象の確認に始まり、計測量のアナログ記録にみられる横力とスラスト変動との関係、潮目との対応等、今までみすごしてきた計測技術上の多くの問題点を含めてあらためて明らかにされたことも多く、ひきつづいて、今後これらをもとにして、さらに十分発展させることによって、よりよき成果が得られるものと思われる。

Table 3.2.1 Offsets of Models (Aft Body)

OFFSETS OF PLATED HULL

PARTICULARS

LENGTH (BETWEEN PERPENDICULARS)	7.0000 m
LENGTH (ON L.W.L.)	7.1750 m
BREADTH	1.1667 m
DRAFT, DESIGNED FULL LOAD	0.4227 m
RISE OF FLOOR	0 m
STARTING POINT OF RISE OF FLOOR FROM CENTER LINE	0 m
RADIUS OF BILGE CIRCLE	0.1050 m
WATERLINES, BOW AND BUTTOCK LINES APART	0.0467 m
SQUARE STATIONS APART	0.7000 m

M.S.NO.0254

HALF BREADTH (mm)

WL	BL	05WL	1WL	2WL	3WL	4WL	5WL	6WL	7WL	8WL	9WL	10WL	11WL	12WL	13WL					
SS	0	23.3	46.7	93.3	140.0	186.7	233.3	280.0	326.7	373.3	420.0	466.7	513.3	560.0	606.7					
B														69.5	102.7	126.9	145.7			
A														32.7	83.8	124.5	158.0	183.5	201.3	
A.P.														7.3	77.0	132.7	177.0	211.5	236.6	255.5
1/4	7.1	9.4	10.5	9.8	7.5	11.9	18.0	34.4	106.0	181.8	238.8	281.0	314.0	338.4	355.1					
1/2	24.2	39.6	47.4	53.7	59.6	69.5	90.7	149.6	234.8	300.2	347.5	382.5	410.1	430.0	443.7					
3/4	47.2	72.2	85.7	98.8	111.1	134.3	185.5	276.4	355.8	408.7	445.5	472.1	491.3	505.5	515.8					
1	80.0	117.5	133.8	150.7	170.5	212.5	293.4	382.0	446.0	487.5	515.2	534.5	548.0	557.2	564.5					
1 1/2	165.3	226.5	252.1	285.2	324.0	392.6	460.2	508.0	541.2	564.4	578.0	582.6	583.1	583.3	583.3					
2	266.3	345.6	380.4	426.5	472.7	514.0	543.3	562.6	575.3	581.8	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3					
2 1/2	367.0	449.7	485.0	527.6	551.8	567.5	577.0	581.9	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3					
3	445.3	512.8	540.6	568.5	579.0	582.2	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3					

Remark: Figures from S.S.4 to F.P. are the same values as in M.S.NO.0253

M.S.NO.0255

HALF BREADTH (mm)

WL	BL	05WL	1WL	2WL	3WL	4WL	5WL	6WL	7WL	8WL	9WL	10WL	11WL	12WL	13WL					
SS	0	23.3	46.7	93.3	140.0	186.7	233.3	280.0	326.7	373.3	420.0	466.7	513.3	560.0	606.7					
B														69.5	102.7	126.9	145.7			
A														32.7	83.8	124.5	158.0	183.5	201.3	
A.P.														7.3	77.0	132.7	177.0	211.5	236.6	255.5
1/4	9.5	13.5	15.2	14.3	16.8	17.0	26.7	46.2	106.3	181.8	238.8	281.0	314.0	338.4	355.1					
1/2	24.8	50.2	64.1	77.3	85.4	98.6	123.7	168.8	235.7	300.2	347.5	382.5	410.1	430.0	443.7					
3/4	44.6	95.0	116.7	142.1	159.3	182.7	224.1	285.6	356.0	408.7	445.5	472.1	491.3	505.5	515.8					
1	77.2	143.6	177.4	208.3	234.3	265.7	315.7	384.5	446.0	487.5	515.2	534.5	548.0	557.2	564.5					
1 1/2	165.3	250.8	287.5	336.0	375.7	415.9	463.0	508.0	541.2	564.4	578.0	582.6	583.1	583.3	583.3					
2	262.8	363.4	398.4	446.1	482.3	515.5	543.3	562.6	575.3	581.8	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3					
2 1/2	355.5	453.3	487.2	527.8	551.8	567.5	577.0	581.9	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3					
3	436.3	517.2	543.9	570.2	579.0	582.2	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3					

Remark: Figures from S.S.4 to F.P. are the same values as in M.S.NO.0253

* S R - 1 5 9 昭和 50 年度 研究報告書

** S R - 1 5 9 昭和 51 年度 研究報告書

Table 3.2.2 Principal Particulars of
Model Propeller

DIAMETER (mm)	204.2
PITCH RATIO(CONST.)	0.7143
BOSS RATIO	0.180
EXPANDED AREA RATIO	0.665
MAX. BLADE WIDTH RATIO	0.301
BLADE THICKNESS RATIO	0.050
ANGLE OF RAKE(DEGREE)	10.0
NUMBER OF BLADES	5
BLADE SECTION	MAU-TYPE
DIRECTION OF TURNING	RIGHT HANDED

Table 3.2.3 Test Conditions etc.

M.S.NO.	0254			0255		
	FULL LOAD	65% LOAD	44% LOAD	FULL LOAD	65% LOAD	44% LOAD
L _{PP} (m)			7.0000			
B (m)			1.1667			
L _{PP} /B			6.00			
B/d	2.76	4.07	5.79	2.76	4.09	5.83
C _B	0.802	0.769	0.740	0.808	0.778	0.751
C _P	0.810	0.781	0.755	0.816	0.789	0.767
C _M	0.990	0.986	0.980	0.990	0.986	0.980
C _w	0.894	0.852	0.822	0.894	0.851	0.824
<i>l_{CB}</i> (% of L _{PP})	-1.464	-0.816	1.381	-1.168	-0.376	1.998

M.S.NO.	0254			0255		
	FULL LOAD	65% LOAD	44% LOAD	FULL LOAD	65% LOAD	44% LOAD
d (m)	0.4227	0.2514	0.1316	0.4227	0.2504	0.1300
		0.2864	0.2016		0.2854	0.2000
		0.3214	0.2716		0.3204	0.2700
TRIM (m)	0	0.070	0.140	0	0.070	0.140
▽ (m ³)	2.7689	1.7998	1.2183	2.7895	1.8132	1.2274
S (m ²)	11.9162	9.8835	8.5930	11.9134	9.8661	8.5872
TEMP. of WATER(°C)	18.2	17.2	17.0	21.6	20.8	20.8

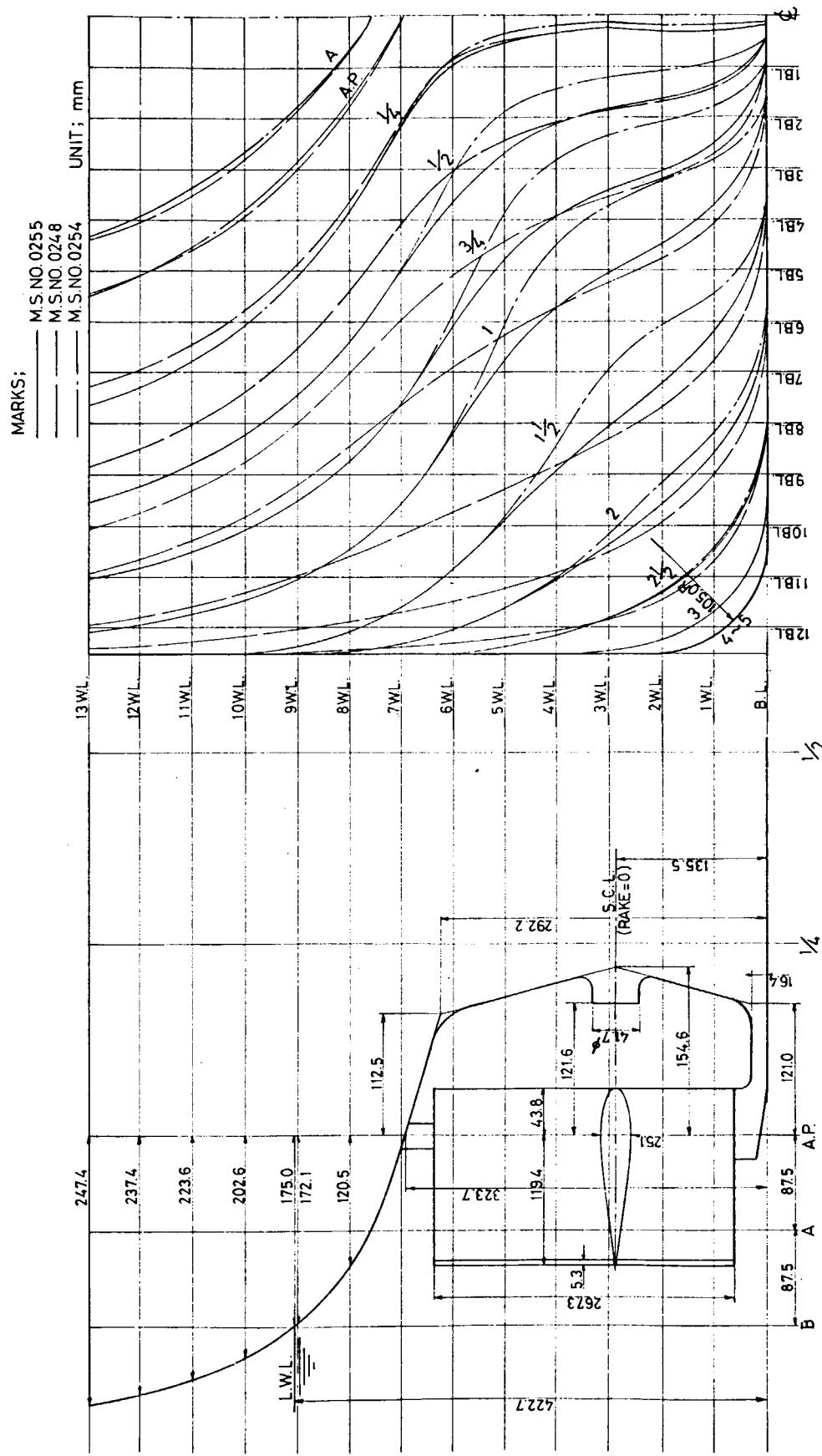


Fig. 3.2.1 Model Ship (Aft Body)

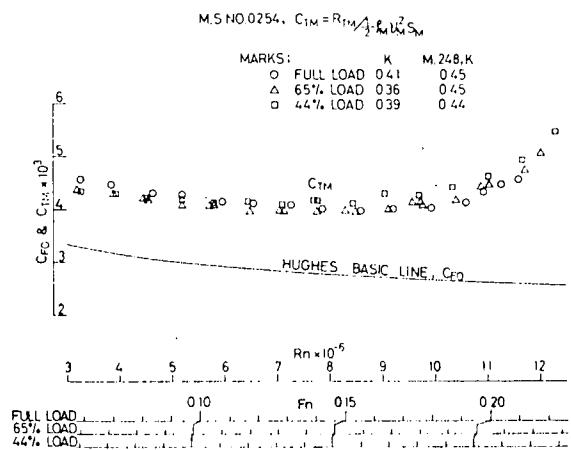


Fig. 3.2.2a Results of Resistance Test (1)
(M.S. 0254)

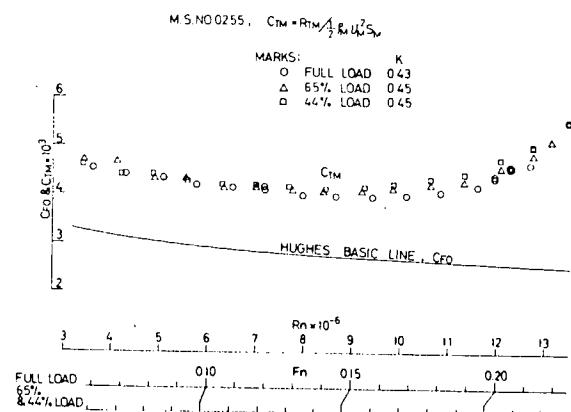


Fig. 3.2.2b Results of Resistance Test (1)
(M.S. 0255)

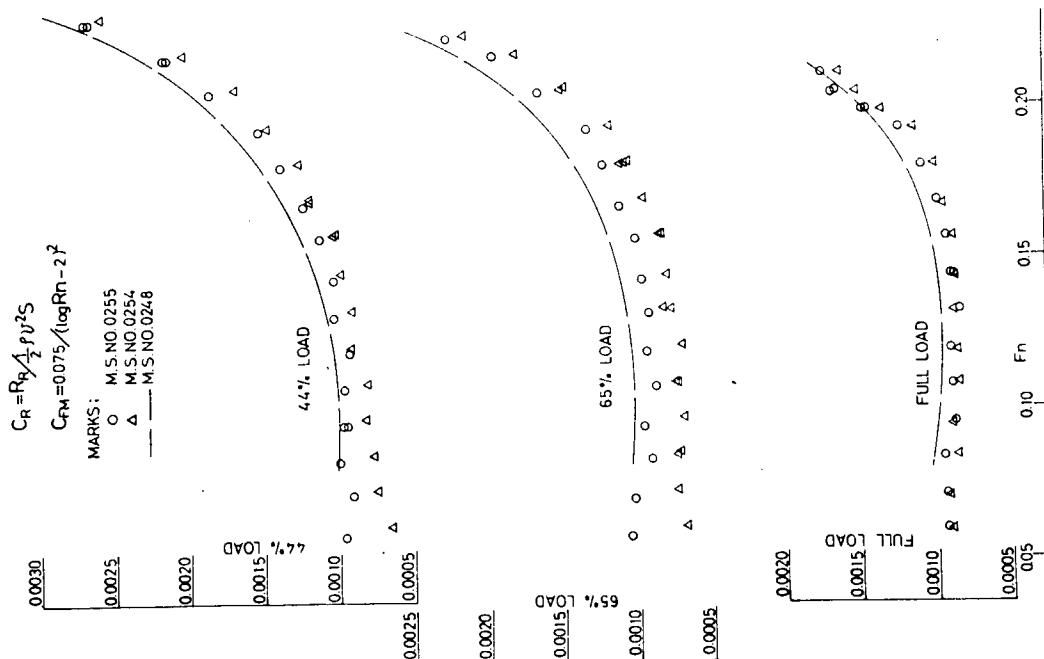


Fig. 3.2.3 Results of Resistance Test (2)

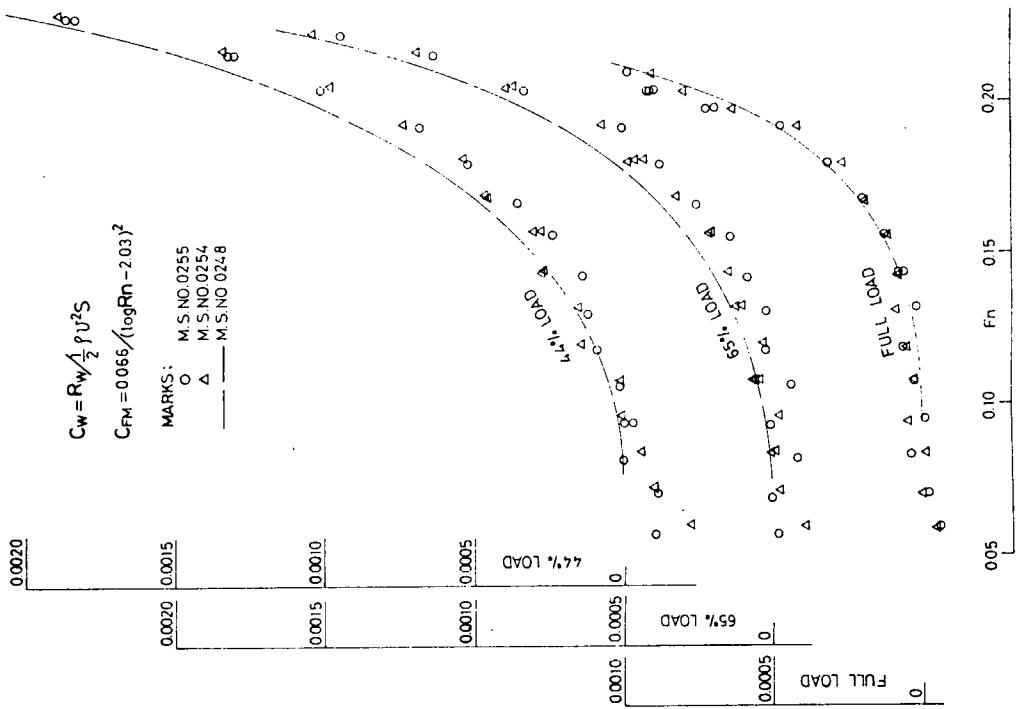


Fig. 3.2.4 Results of Resistance Test (3)

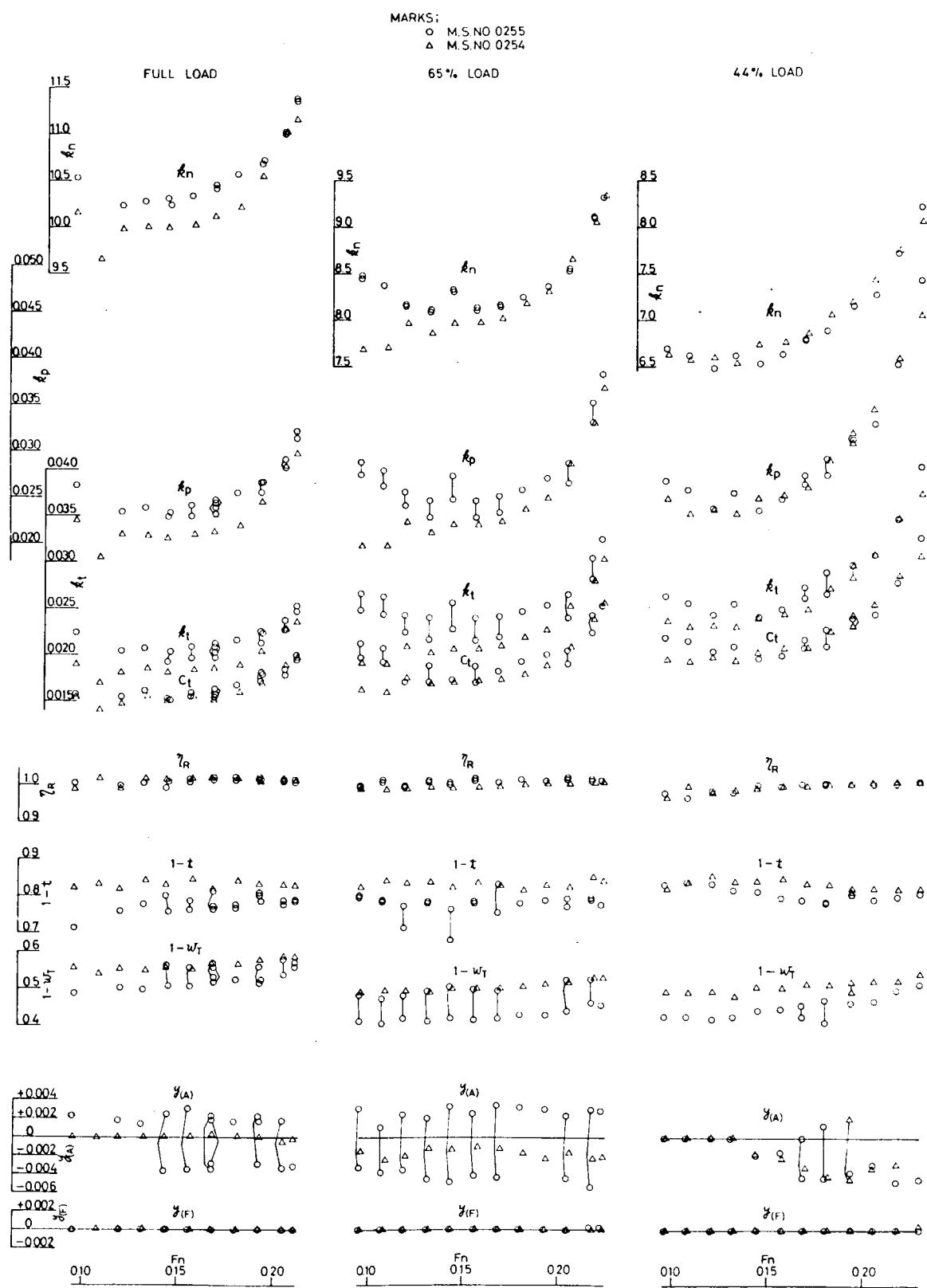


Fig. 3.2.5 Result of Self-Propulsion Test

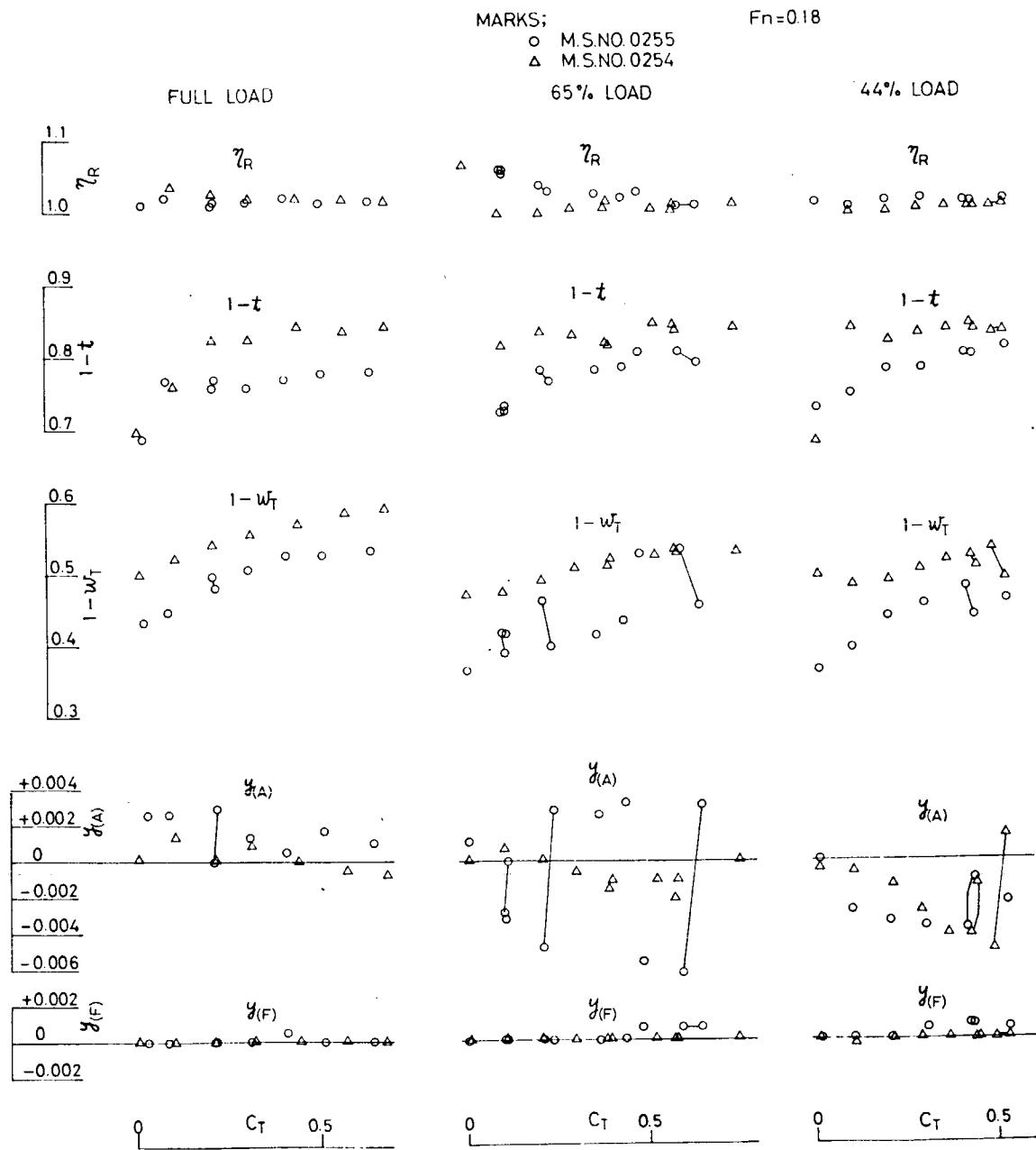


Fig. 3.2.6 Result of Propeller Load Test

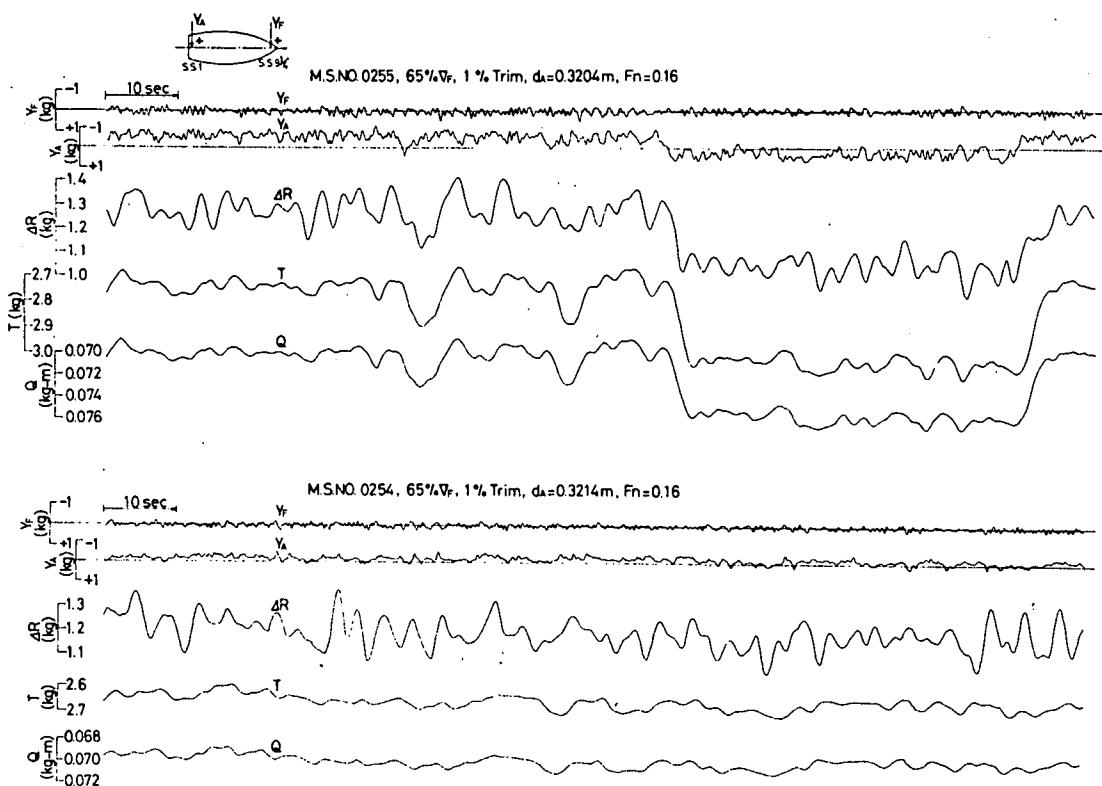


Fig. 3.2.7 Example of Record

3.3 試験状態と不安定現象の関係調査

3.3.1 まえがき

不安定現象が、試験状態の変化、例えば載貨状態(船尾喫水)やトリム等の変化に対して、どのように影響をうけるかを確認することは、不安定現象を理解する上で、ひとつの手がかりとなり得るものと考えられる。

本研究の最終年度にあたって、前章に記された船尾形状変化の不安定現象およぼす影響調査とともに、トリムや載貨状態の変化について調査した。

いままでにも、同様な試験は計画され、一部については報告されている。^{*}このような試験を実施するにあたって、不安定現象の出現が確認されている船型を、探さねばならない。

3.3.2 模型船および試験状態

使用した模型船は、昭和52年度に行った船尾形状シリーズ(船尾肥大度の影響を調査した)のなかの1隻M.S.0253であり、この船は、65%載貨状態で、“不安定現象”が出現する限界にあると考えられた。

また、他に、前章で述べられているM.S.0255すなわち、各状態ではげしい不安定状態が確認された船型(θ_L 船型)を使用した。

試験は、65%載貨状態、速度 $F_n = 0.18$ を主として自航試験を行った。

M.S.0253の試験状態等を Table 3.3.1に、M.S.0255の試験状態を Table 3.3.2に示す。

3.3.3 試験結果および考察

不安定現象を、船尾の非対称流場が左右交互に変化する現象、すなわち、自航試験時にスラスト、トルクが共に高い値を示す状態と低い値の状態とが交互に出現する現象と考えて、その判断は、船尾流れ(潮流)の変化の観察と、計測量のアナログ記録により行った。

M.S.0253、65%載貨状態で、トリムを変化した自航試験のなかから、 $F_n = 0.18$ におけるアナログ記録(スラスト、曳航力、横力)をまとめてFig. 3.3.1に示す。

これによると、トリムの変化というよりこの場合は、排水量を一定にしたための船尾喫水の変化によって不安定現象におよぼす影響がみうけられる。船尾喫水が浅くなるにしたがって(Table 3.3.1の condition 4 から 1 に変わる)、アナログ記録は、スラストも、曳航力も、横力もすべて一様にその変動が大きく現われる)この傾向は、速度のいかんを問わずみられ、また、 $F_n = 0.18$ においてプロペラ荷重を増加しても同じ様な現象が現われる。

つぎに、船尾喫水を一定(65%載貨状態、1%船尾トリム時)にして、トリムを0から徐々に船尾トリム0.5%、1%、2%と増加した場合(この場合、排水量も変化する。Table 3.3.2)、自航試験のアナログ記録をFig. 3.3.2に示す。トリムを0から徐々に船尾トリムにしてゆくと、計測記録ではやはり、やや変動の程度が増加するが、その変動のしかたは船尾喫水を変えた場合を示すFig. 3.3.1ほどはっきりと大きく現われていない。

一方、M.S.0255の場合、船尾喫水を一定にしてトリム量を変化させた状態で、自航試験を行った。そのアナログ記録Fig. 3.3.3によると、本船型の場合、変化したトリムの範囲内では、すべての状態において、不安定現象の存在がみとめられる。なお、船尾喫水の変化に対しては、もっとも深い喫水状態ともっとも深い喫水状態についてのみ試験したところでは、やはり同様に、どちらの状態においても不安定現象がみとめられた。すなわち、本船型(θ_L)のように、はげしい二股現象の起る場合は、少々の喫水

変化やトリム変化によっては影響をうけないであろうことが推察される。

結果的にいえば、M.S.0253のように“不安定現象”出現の限界にある船型では、船尾喫水の増大によって安定化の方向にむかうし、船尾喫水を一定にした場合は、トリムの変化によって、やはり同様に変り得ることがわかる。しかし、トリム変化より、船尾形状に影響を与えることが比較的大きい喫水変化の方が不安定現象に支える影響が大きい。

このように不安定現象は、船尾形状によってひきおこされるものと考えられるが、同時に、船尾喫水とも密接に関係している。

Table 3.3.1a Test Conditions (1) (M.S. 0253)

M.S.NO.0253 , 65% Load					
CONDITION		(1)	(2)	(3)	(4)
DRAFT (m)	at A.P.	0.2839	0.3199	0.3555	0.3907
	at Mid Ship		0.2849	0.2855	0.2857
	at F.P.		0.2499	0.2155	0.1807
TRIM (% of L _{PP})	0	1	2	3	
S (m ²)	9.5252	9.5747	9.6262	9.6804	
▽ (m ³)		1.7754			

Table 3.3.1b Test Conditions (2) (M.S. 0253)

M.S.NO 0253					
CONDITION		74% ▽ _F	69% ▽ _F	65% ▽ _F	61% ▽ _F
DRAFT (m)	at A.P.		0.3199		
	at Mid Ship		0.3024	0.2849	0.2674
	at F.P.		0.2849	0.2499	0.2149
TRIM(% of L _{PP})	0	0.5	1	1.5	2
S (m ²)	10.0624	9.8181	9.5747	9.3305	9.0867
▽ (m ³)	2.0174	1.8960	1.7754	1.6548	1.5348

Table 3.3.2 Test Condition (M.S. 0255)

M.S.NO.0255					
CONDITION		74% ▽ _F	69% ▽ _F	65% ▽ _F	61% ▽ _F
DRAFT (m)	at A.P.	0.3201	0.3204		
	at Mid Ship		0.3026	0.2854	0.2676
	at F.P.		0.2851	0.2504	0.2151
TRIM (% of L _{PP})	0	0.5	1	1.5	
S (m ²)	10.3511	10.1058	9.8661	9.6153	
▽ (m ³)	2.0549	1.9326	1.8132	1.6894	

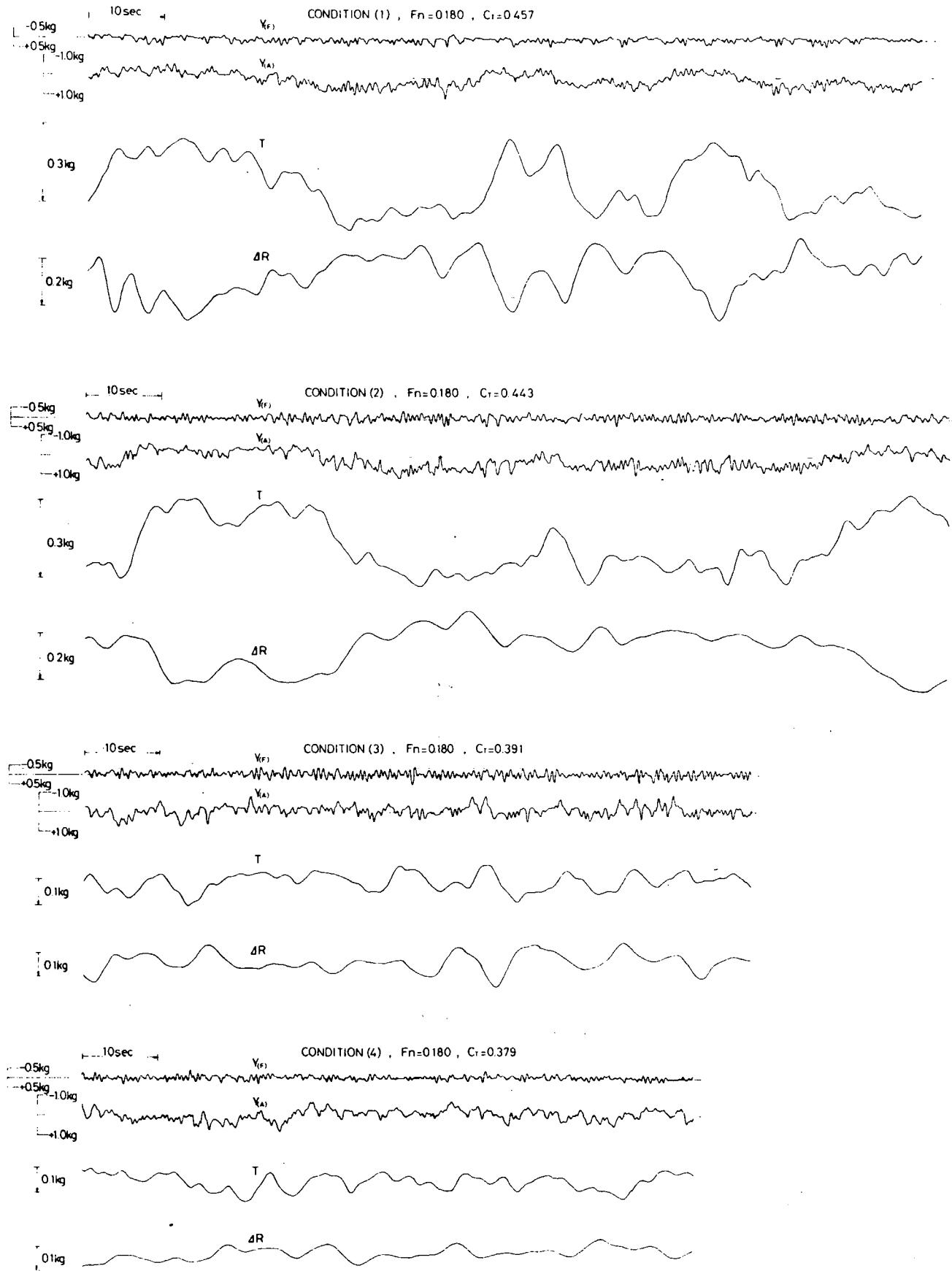


Fig. 3.3.1 Examples of Records (1)

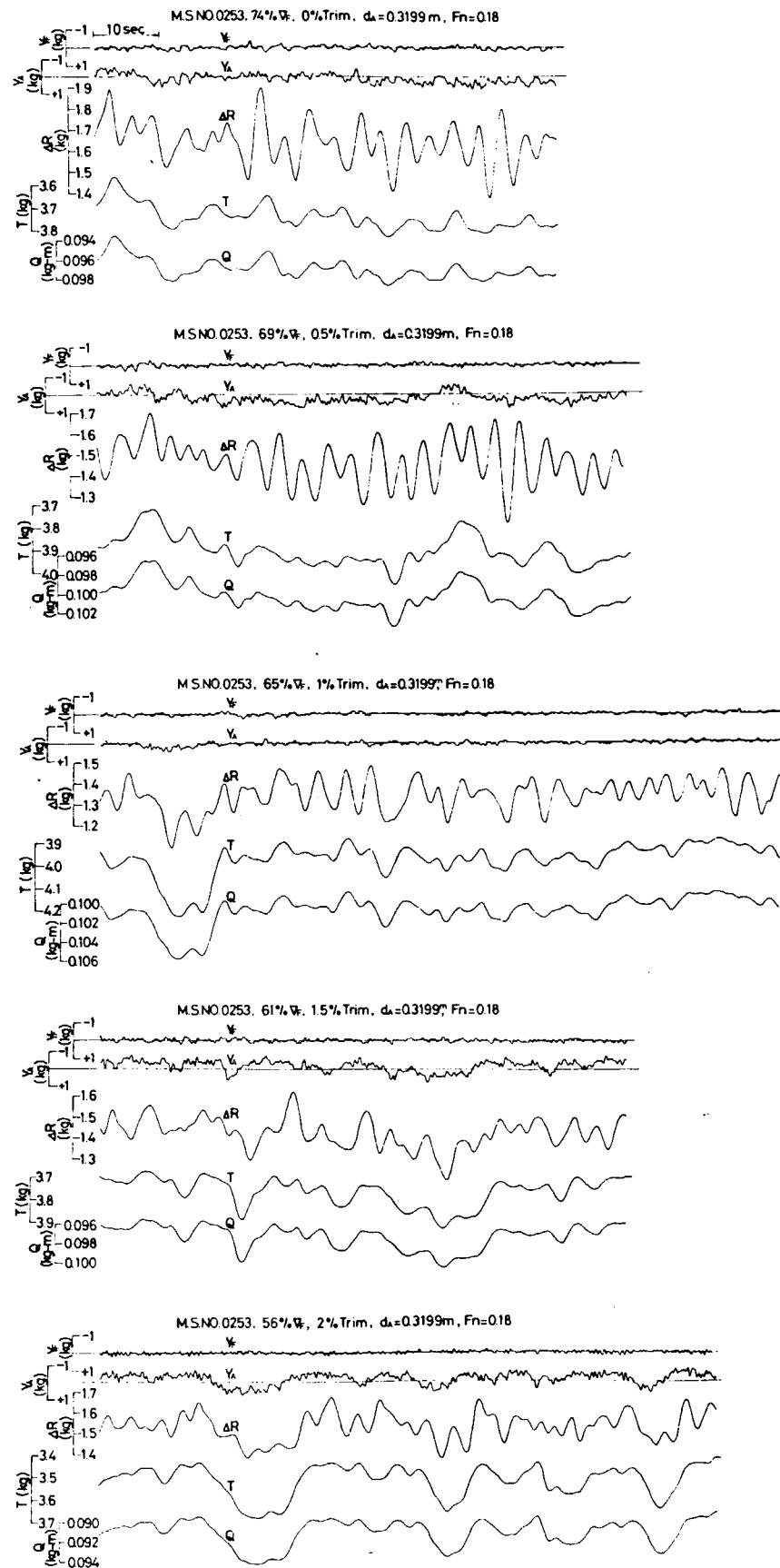


Fig. 3.3.2 Examples of Records (2)

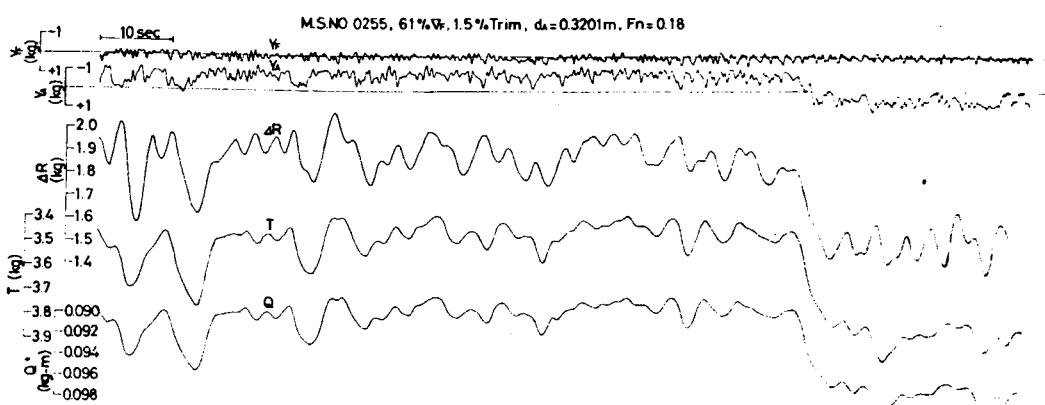
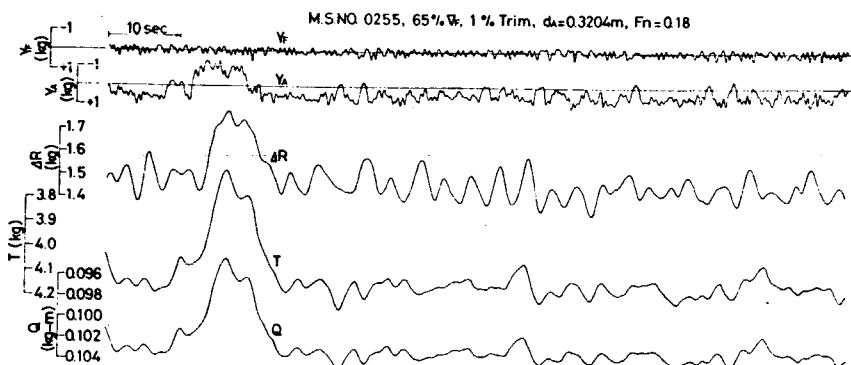
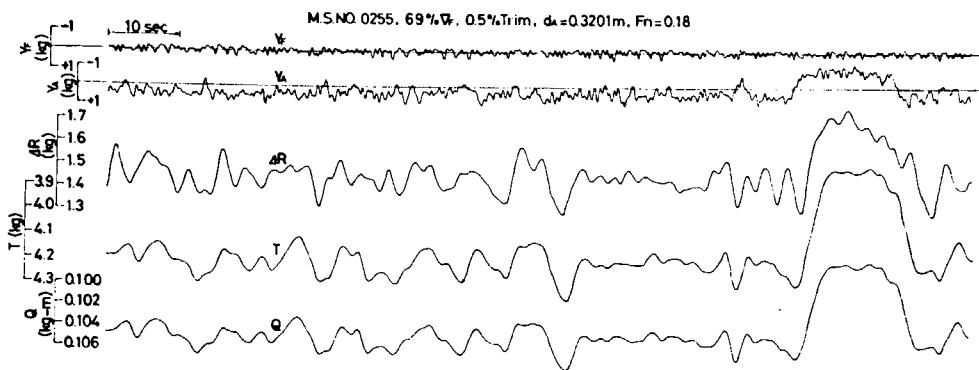
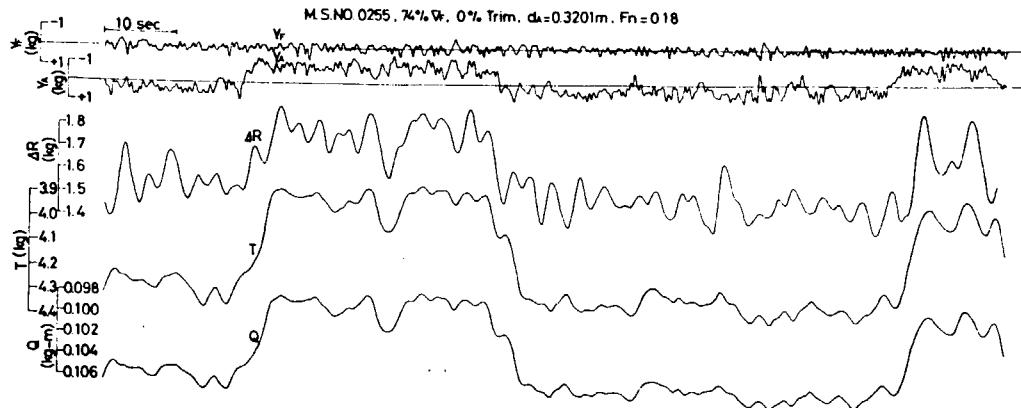


Fig. 3.3.3 Examples of Records (3)

3.4 流場凍結法の自航試験への適用

3.4.1 緒 言

船尾流場における所謂不安定現象の発生機構を解明するためには、まず一般に出現する流場の構造及びそれに伴う諸現象を調べなければならないが、出現頻度の低い（換言すれば安定度の悪い）流場を調べるために、その流場を以後の変動を封じて時間持続させる必要がある。こうした発想のもとに、川崎重工業技術研究所における回流水槽を使用した2m模型船の実験で、流場凍結の可能であることが実証され、52年度成果として部会に報告された⁽¹⁾。即ち、2股現象が現われた場合、不規則に変転するそれぞれの流場に対応して、左舷側もしくは右舷側に生ずる潮目に沿って、水面付近の浅い部分に仕切板を入れると、その流場の以後の変動を抑えて、現状に固定できることが認められた。これが流場凍結である。

一方、大型模型船による自航試験において2股現象が現われた場合、自航試験の実用目的から不都合とされる問題は次の諸点である。

- (1) 二つのデータがとれるので、通常の実船と模型船との相関関係（即ち連続的なレイノルズ数の効果と考えられる尺度影響）において、どちらのデータが実船に対応するのか。
- (2) この種の安定不安定の限界にある船型については、たとえ2股現象が現われなくても、2股のうちどちらに安定しているのか。
- (3) この種の船型について、常に実船に対応する流場で安定した模型試験が実施できる方法はないか。

以上のような背景から、当研究部会53年度の課題として、流場凍結法を大型模型船の自航試験に適用する件が採りあげられたが、ここでは前記(1), (2)に関しては暫く描き、主として(3)の方向、即ちこの種の不安定船型について、期待する方の流場で常に安定した自航試験を実施することの可能性を調査することにした。

3.4.2 試験計画の要点

流場凍結が可能なことは回流水槽で確認されているので、大型模型船の場合も、同種の不安定現象さえ生じてくれれば、恐らく流場凍結は再現できるであろう。従って今回の試験は、前記の回流水槽の実験で未確認の次の諸点を重点的に調べることにした。

(1) 潮目の存在及び潮目と諸計測値との関係の再確認

この流場凍結法は、仕切板の挿入位置の決定及び期待する流場の判定に関して、潮目の存在が重要なポイントになっている。当部会の実験においては、不安定現象の現われる時は必ず潮目の変動が伴うことが認められているが、51年度における7m模型船の持ちまわり試験をふり返ってみると、必ずしも常に潮目が存在するとは限らないように感ぜられる。それで今回の供試模型についても、まず潮目の確認及び潮目と諸計測値との関係をあらためて調査する。

(2) 仕切板による流場設定の可能性の調査

曳航水槽における大型模型船の実験は、回流水槽における実験と異なり、航走距離及び計測時間が著しく制限される。従ってこの流場凍結が、単に現在発生している流場の固定に止まるのであれば、曳航水槽においては、日常試験への適用はまず困難と云わなければならない。換言すれば、仕切板の挿入を単なる流場の現状凍結から、流場の制御にまで進められるか否か、即ち左舷もしくは右舷に予想される潮目位置に、あらかじめ仕切板を設置して模型船を発進させれば、それぞれ左舷或は右舷に潮目を伴う流場（期待する流場）を随意に設定することが可能か否かということである。

(3) 仕切板の計測値に及ぼす影響調査

流れの中に仕切板を入れるので、多少なり流れに影響を与えるであろうということは否定できない。従って、たとえば期待する流場を設定し凍結することができたとしても、その時のトルク・スラスト等

の計測値が自由航走時から変ってしまうのでは自航試験の意味をなさない。従って、仕切板を入れた時に諸計測値に及ぼす影響を定量的に調べ、かつ可能であれば仕切板の大きさを変えて、必要最小限な仕切板の大きさを調査する。

(4) 実験の方法及び結果の判定

実験はすべて通常の自航試験とする。前記調査項目に対する結果の判定は、トルク・スラスト或はサイドフォースの平均値レベルの変動の有無、平均値レベルの比較、潮目の観測など、これまで第1小委員会で採られて来た方法による。水槽使用日数が十分にとれないので、5孔管或は流れの可視化などによる流場調査は行なわない。

3.4.3 試験の概要

(1) 供試模型船及び試験状態

今回の実験には、潮目の変動を伴う不安定現象を発生させることが先決であるから、明石船型研究所の通常の受託試験において、自航試験の結果に著しい2股現象を呈した模型船を実験に供し、同じ試験状態で実験をすることにした。参考までにその自航試験結果をFig. 3.4.1に示す。ただしその当時においては、潮目の存在の有無は観察されていない。供試模型船および試験状態は次のとおりである。

$$L_{PP} = 7.130 \quad L/B = 5.085 \quad B/d = 3.249$$

$$C_B = 0.797 \quad \ell_{CB} = -3.15\% \quad L_{PP}$$

$$\text{試験状態 } 4.9.2\% \quad \triangle \text{ FULL } , \quad \text{トリム } 1.6\% L_{PP}$$

(2) 通常の抵抗・自航試験

前記の受託試験において顕著な2股現象の現われた速度範囲、即ち $F_N = 0.14 \sim 0.22$ を中心に通常の抵抗自航試験を実施した。抵抗試験で特に異常な現象は認められなかつたが、自航試験では明瞭な2股現象が再現した。その時の自航要素(平均値)をFig. 3.4.2に、その中の航走点Ⓐ、Ⓑ及びⒸのアナログ記録をそれぞれFig. 3.4.3、4および5に示す。Fig. 3.4.3及び4は一航走中に流場の変動がなく安定した例であるが、前者はスラスト小、後者はスラスト大の場合である。Fig. 3.4.5は一航走中にスラストレベルが変動した顕著な例を示す。その場合、スラスト大の時は船尾横力が左舷から右舷の方向に働き、スラスト小の時は船尾横力が右舷から左舷に働くということは、これまでの知見と一致するが、対応して船尾に発生すると云われる潮目は遂に認めることができなかつた。ただ、船尾から出る八字波は明らかに非対称で、左舷の波が右舷の波より前進している時はその差が顕著で、スラスト大の時であり、右舷の波が左舷の波より前進している時はその差が余り明らかでなく、スラスト小の時に相当する。このような船尾八字波の模様をFig. 3.4.6に示す。なお、 $F_N = 0.20$ の速力でプロペラ荷重を変更して航走してみたが、潮目を認めることができなかつた。

(3) 流場凍結実験

挿入する仕切板は、川崎重工業(株)における実験で2m模型船に対して使用された板を、単純に7m模型船用に拡大したもの、即ち $700\text{mm} \times 35\text{mm}$ の板を使用した。なおこれより適宜短くしたもの2種も準備したが、使用するにいたらなかつた。

前記のように潮目が現われないので、52年度報告書を参考として、強いてもとも潮目らしく見える所に手で保持した仕切板を入れてみた。左舷に挿入した場合も、また右舷に挿入した場合も、スラストのレベルは或時は高い方になり、或時は低い方になって一定せず、稀には仕切板を入れているにも拘わらず、一航走の途中でスラストレベルが段差的に変化した。また仕切板を挿入してもスラストのレベルは自由航走時に比べて殆んど変らなかつたが、潮目が見えないために板の入れ方はかなり微妙であつて、板の入れ方に無理があつたためにスラストに影響したと思われる点も二、三見受けられた。これらすべての試験の概要を一括してTable 3.4.1に、試験結果(平均値)を航走番号順にFig. 3.4.7に示す。

また仕切板を入れているにも拘わらず、一航走の途中でスラストレベルが変化した時のアナログ記録を Fig. 3.4.8～3.4.9に示す。

いずれにせよ、一航走の時間がきわめて短いので、十分に凍結できたか否かを確認するのが難しいことと、潮目が現われなかつたために仕切板を入れる位置の根拠を失ったことが今回の実験の難点であった。なお、Fig. 3.4.10に示すような簡易タフトグリッドを水面近くに挿入し、観測ポートを通して流れの状況を観察してみたが、特に変った点は認められなかった。

3.4.4 考 察

これまでの回流水槽における2m模型船の実験では、不安定現象の発生に伴つて所謂潮目が現われているが、この潮目が文字どおり二つの流れの境界面であるならば、52年度における流場凍結実験で示された成果はうなづける所である。

しかしながら、今回の実験では肝要な潮目を遂に認めることができなかつた。従つて今回の流場凍結は成功しなかつたが、これは昨年度の成果を否定するものではないであろう。思うに、51年度の7m模型船持ちまわり試験をふり返つてみても、明石船型研究所に於ける実験で潮目が現われたのは、プロペラ荷重度或はプロペラ前後位置を変えた時の、ごく限られた場合であった。これまでの実験全体を眺めてみると、小さい模型船ほど不安定現象がきつく現われているようなので、小型模型船の場合は、剥離渦か何かに起因する左右舷の流れの非対称が大きく、それらの境界面が水面まで達して潮目を現わしているが、大型模型船になると、前記非対称が相対的に小さくなつて境界面が水面に達せず、或条件が整つた場合にのみ水面に潮目が現われて来るものと云えないであろうか。

今回の実験でも、スラストや船尾横力の計測結果の示すとおり、明らかに不安定現象は存在した。従つて、プロペラ及び船尾周辺には、前記の潮目を伴う流場に類似のものが存在したことは間違いないであろう。そして水面の流れに関しては、2次元的な一様の流れであるが、下層の流場に影響されて、船尾八字波が或時は左舷側を前進させ、また或時は右舷側を前進させるという非対称を見せているのであろう。

3.4.5 結 言

小型模型船の場合は、潮目が水面に現われるから、そこに水面上から仕切板を挿入して、流場凍結することが可能である。しかし、7m程度の大型模型船になると、必ずしも水面に潮目を伴うとは限らないようなので、現在の流場凍結法をそのまま日常の自航試験に適用することは困難と云わなければならぬ。

しかしながら、緒言に述べたような必要性から考えると、流場凍結法にはこのまま捨てきれぬものがあるように思われる。これの自航試験への適用をはかるには、潮目の構造、潮目と船尾八字波との関連など大型および小型の模型船について、更に詳細な船尾流場の調査が必要であろう。

Table 3.4.1 流場凍結法の自航試験への適用に関する調査

(BALLAST COND.)

1978-8-17 RESISTANCE TEST RUN NO. 1 ~ RUN NO. 5

1978-8-17 SELF-PROPELLION TEST

RUN NO.	Fn	1-WT	THRUST LEVEL	RAW DATA	SIDE FORCE(AFT)	八字波	運行目	仕次板
1	.180	0.485	小	定	←	↑	↑	
2	.221	0.499		段差変動	↑	↑		
3	.200	0.472		定	→	↑		
4	.162	0.491	小	定	→	↑		
5	.181	0.484	小	定	→	↑		
6	.221	0.484		段差変動	→	↑		
7	.201	0.473		段差変動	→	↑		
8	.161	0.495	小	定	→	↑		
9	.201	0.510		段差変動	→	↑		
10	.130	0.442	大	定	→	↑		
11	.201	0.444		定	→	↑		
12	.201	0.457		段差変動	→	↑		
13	.201	0.466	中	定	→	↑		
14	.201	0.443		段差変動	→	↑		
15	.201	0.444		定	→	↑		
16	.181	0.494	小	定	→	↑		
17	.220	0.478		段差変動	→	↑		
18	.200	0.412		定	→	↑		
19	.200	0.461		定	→	↑		

荷重 $\frac{1}{2} T$
SFC

1978-8-28 SELF-PROPELLION TEST

RUN NO.	Fn	1-WT	THRUST LEVEL	RAW DATA	SIDE FORCE(AFT)	八字波	運行目	仕次板
1	.202	0.430	大	定	←	↑	↑	
2	.200	0.482	小	定	←	↑	↑	
3	.199	0.480	小	定	←	↑	↑	
4	.199	0.432		段差変動	→	↑	↑	
5	.200	0.434		段差変動	→	↑	↑	
6	.200	0.429		段差変動	→	↑	↑	
7	.201	0.430	大	定	→	↑	↑	
8	.201	0.484	小	定	→	↑	↑	
9	.201	0.423	大	定	→	↑	↑	
10	.200	0.488	小	定	→	↑	↑	
11	.200	0.416	大	定	→	↑	↑	
12	.199	0.457	大	定	→	↑	↑	
13	.200	0.407	大	定	→	↑	↑	
14	.199	0.466	大	定	→	↑	↑	
15	.199	0.437	大	定	→	↑	↑	
16	.199	0.468	大	定	→	↑	↑	
17	.199	0.464	大	定	→	↑	↑	
18	.199	0.404	大	定	→	↑	↑	
19	.199	0.495	大	定	→	↑	↑	
20	.202	0.472	大	定	→	↑	↑	
21	.202	0.587	大	定	→	↑	↑	
22	.201	0.437	大	定	→	↑	↑	
23	.200	0.416	大	定	→	↑	↑	

規
用
機
械
部
品
上

バースト状態

①のアラログ記録

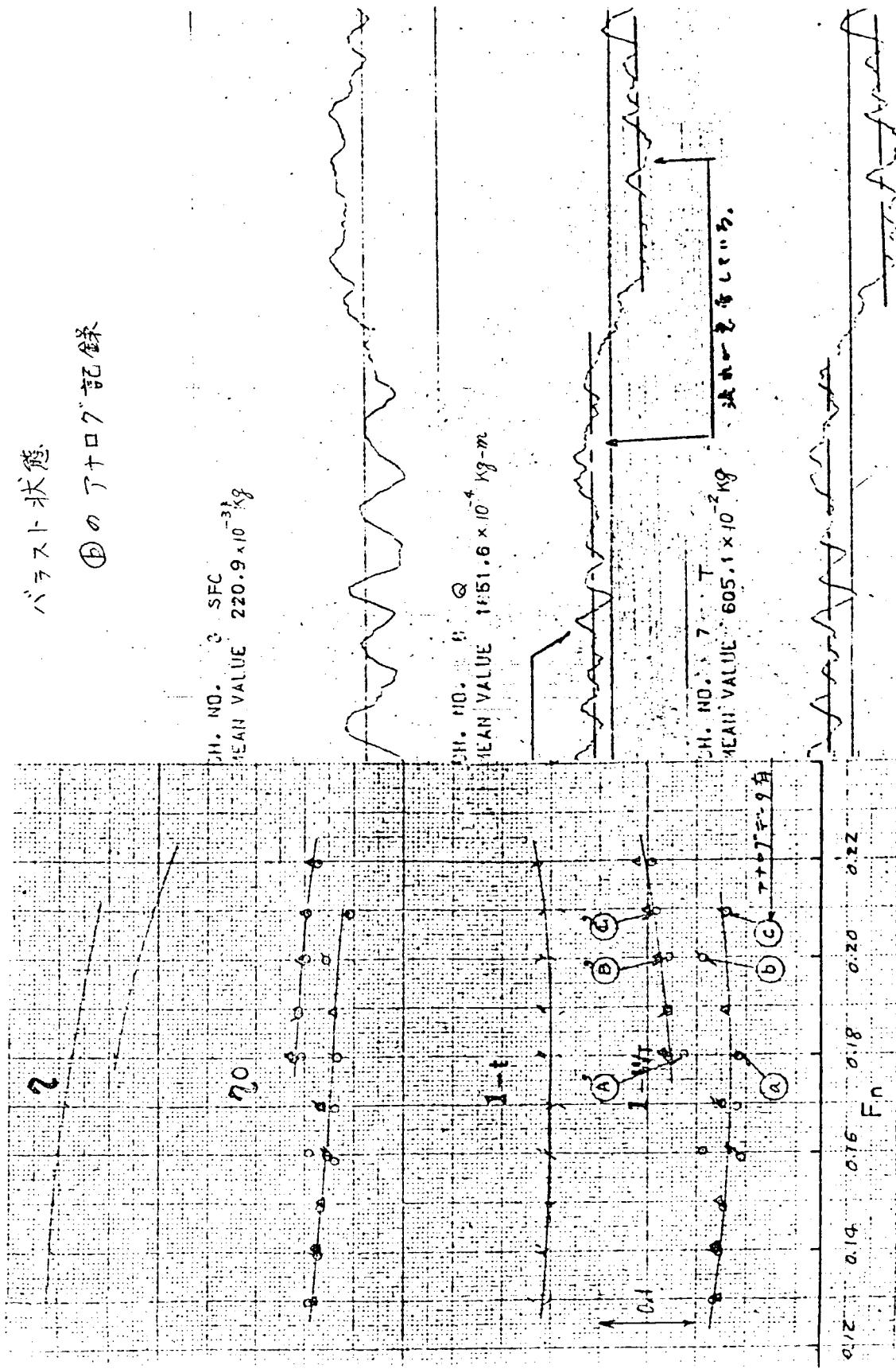


Fig. 3.4.1 受託試験時の自航試験結果

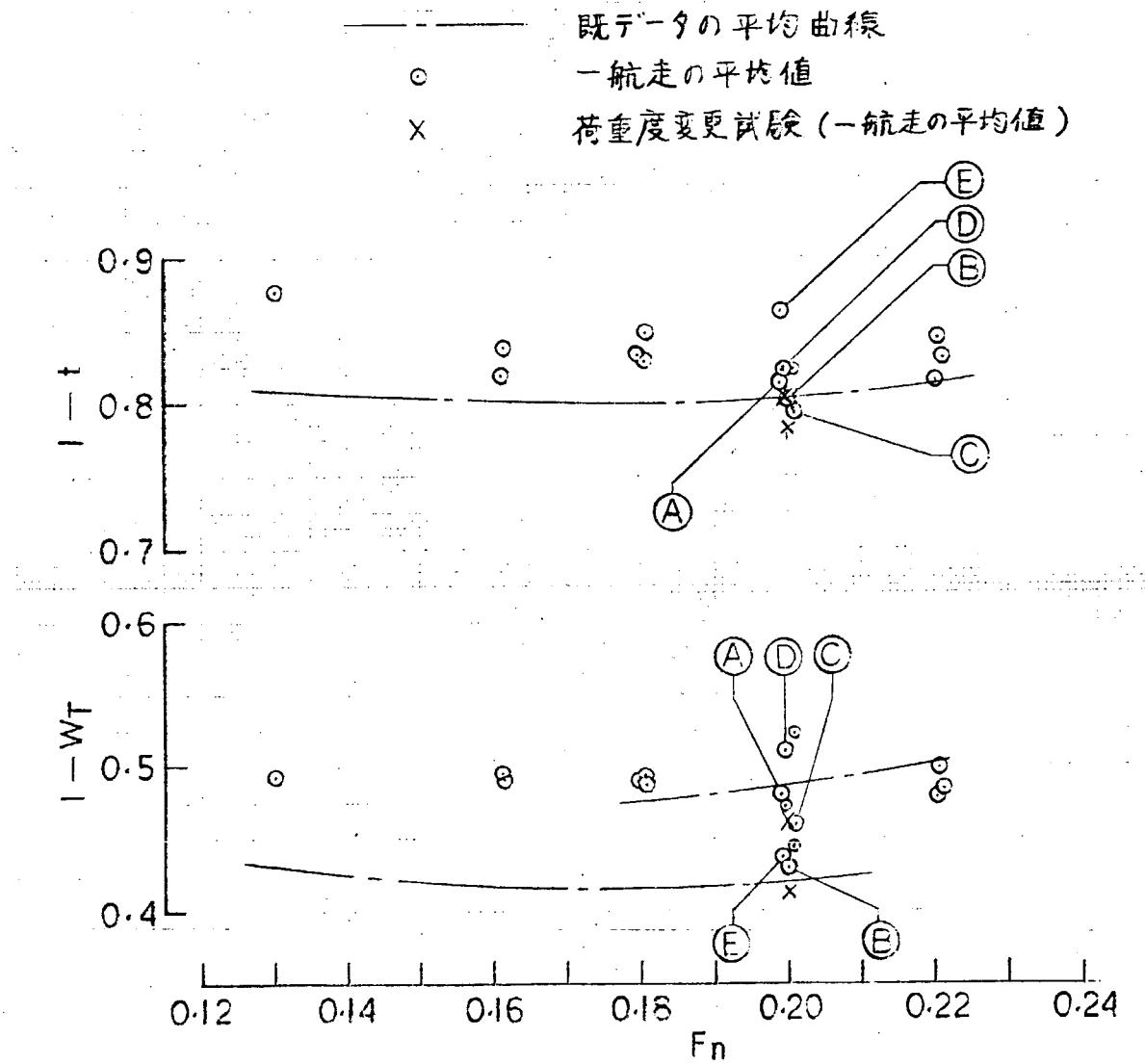


Fig. 3.4.2 F_n vs $1-W_T$, $1-t$

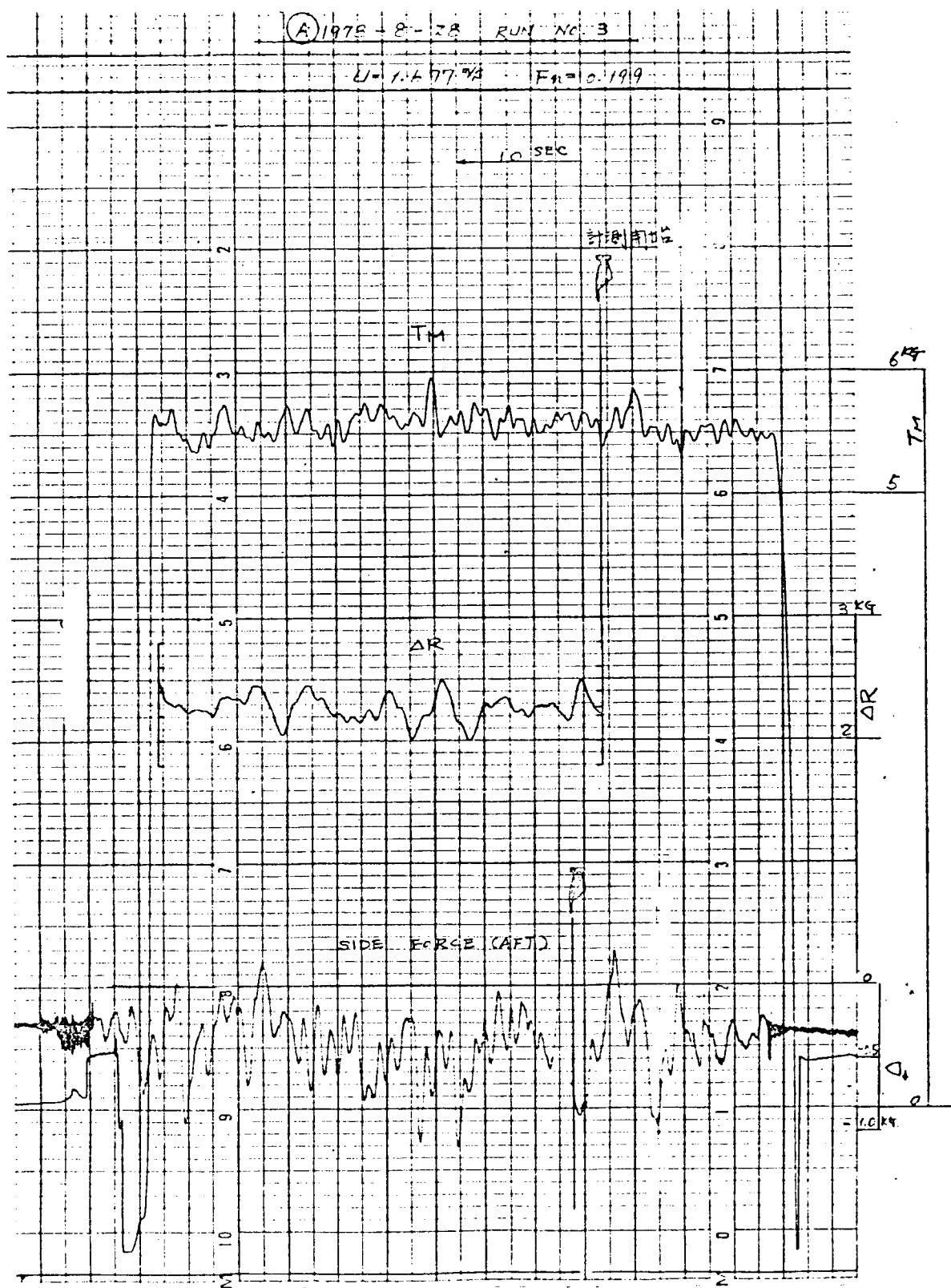


Fig. 3.4.3

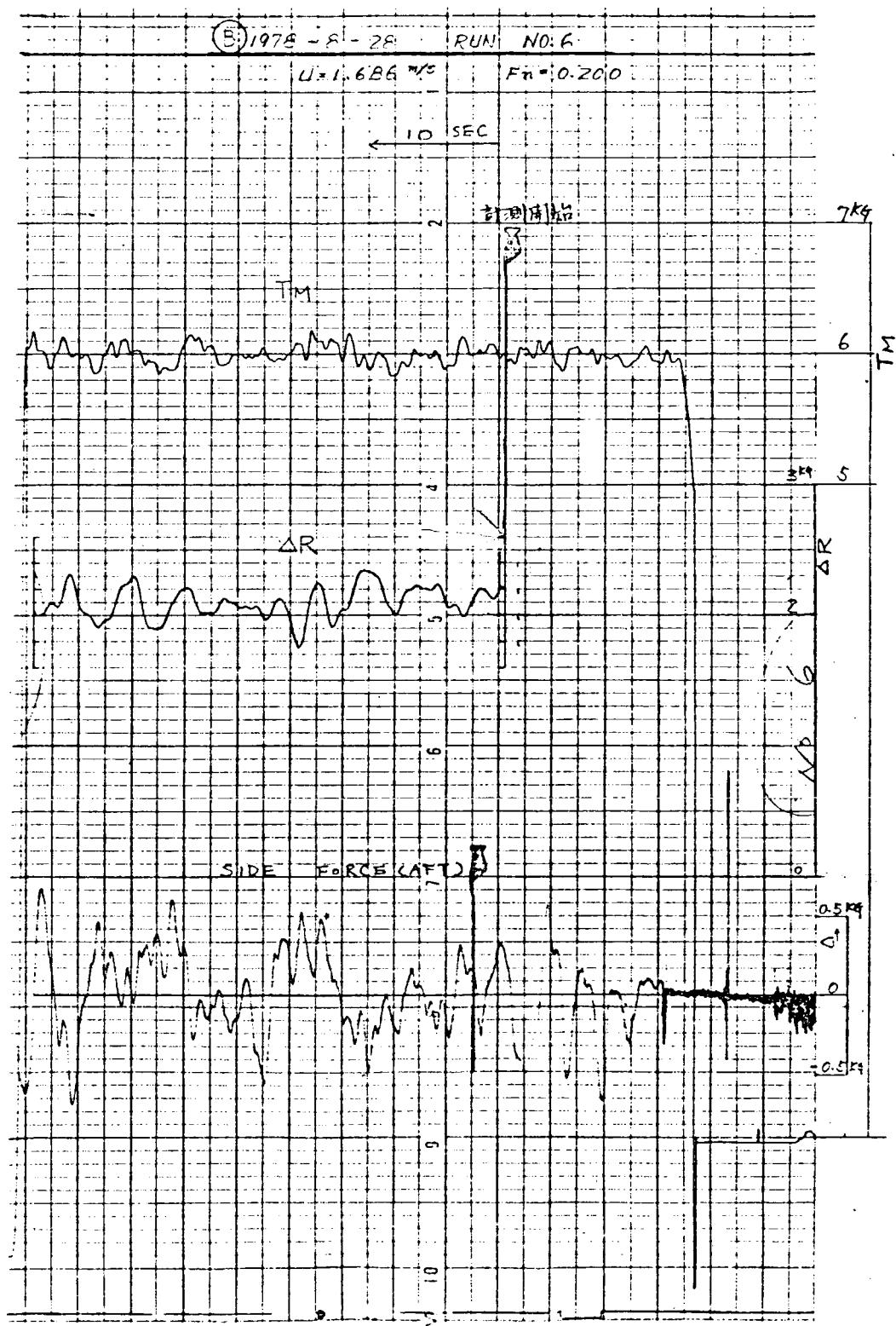


Fig. 3.4.4

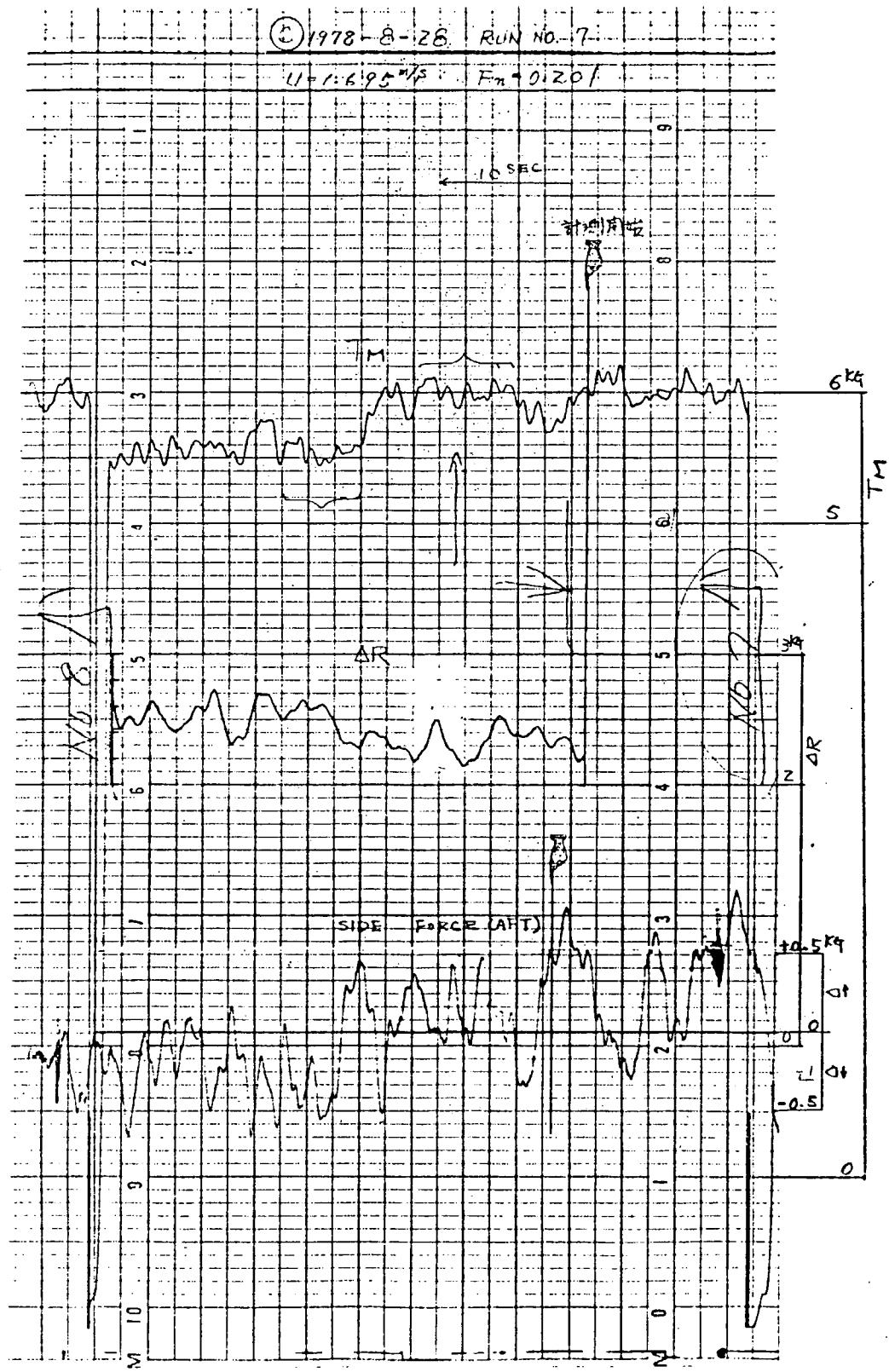


Fig. 3.4.5

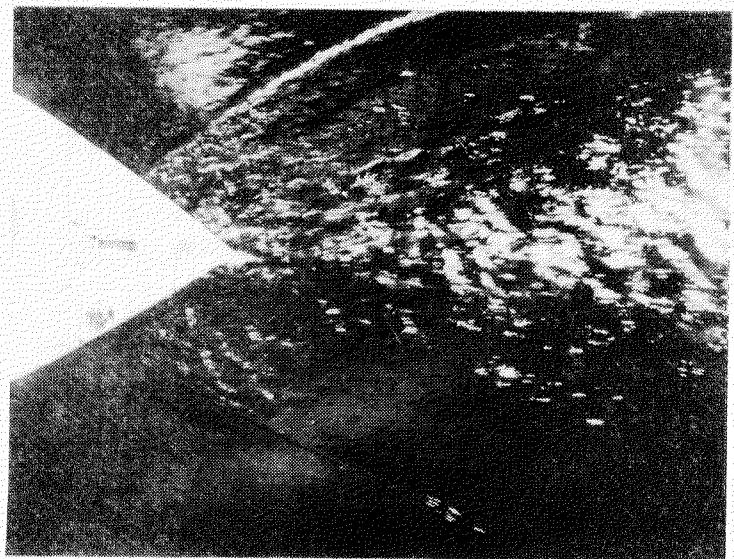


Fig. 3.4.6 船尾八字波の例

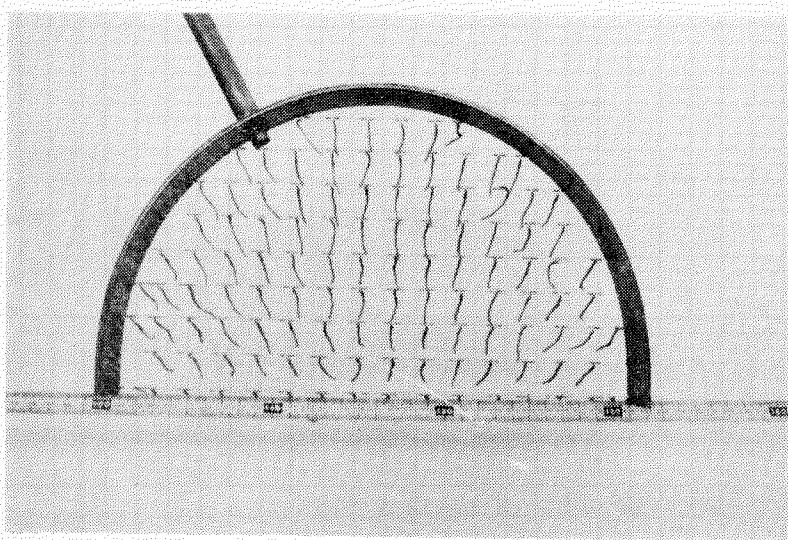


Fig. 3.4.10 簡易タフトグリッド

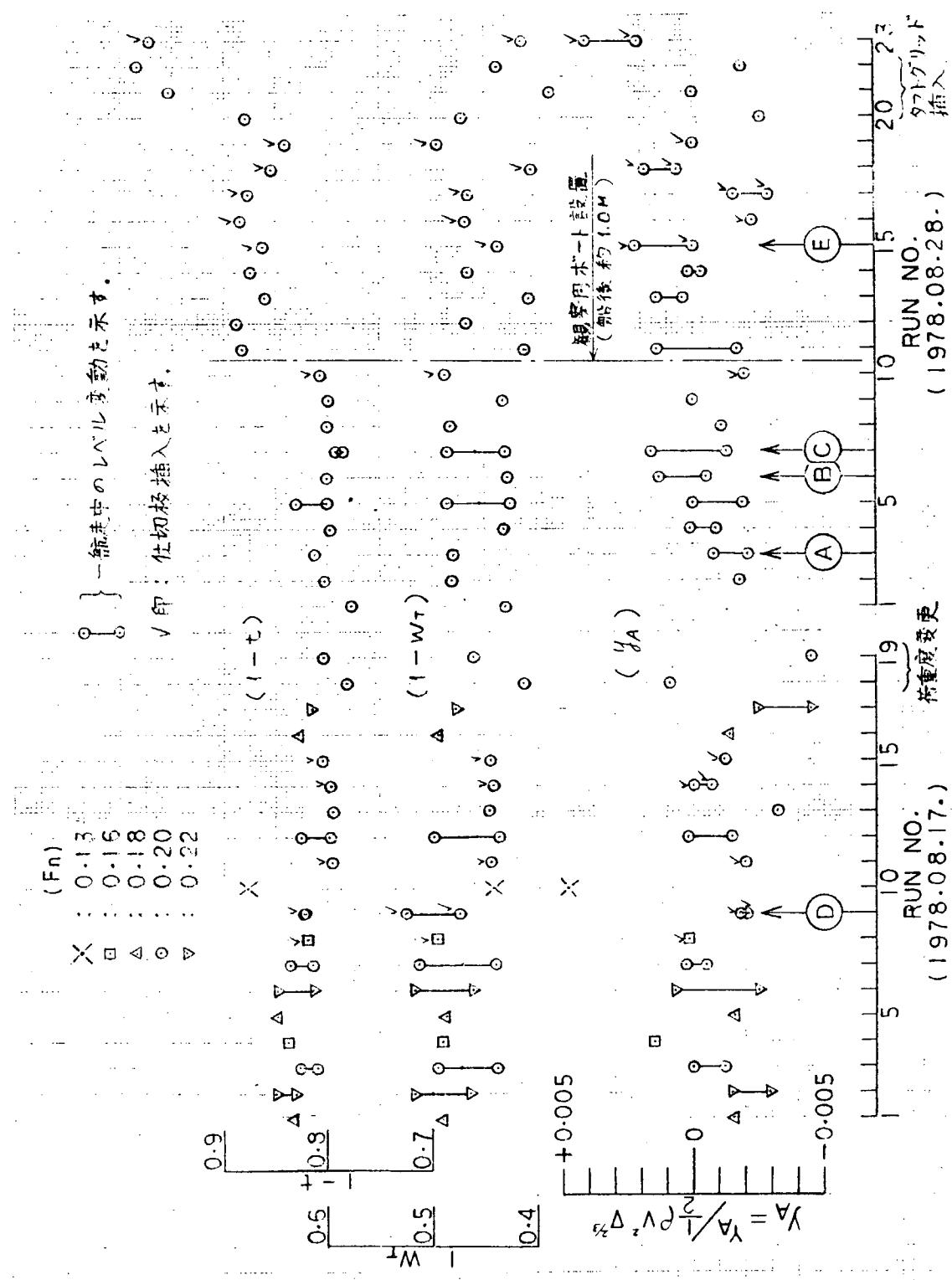


Fig. 3.4.7 1-W_T, 1-t & γ_A

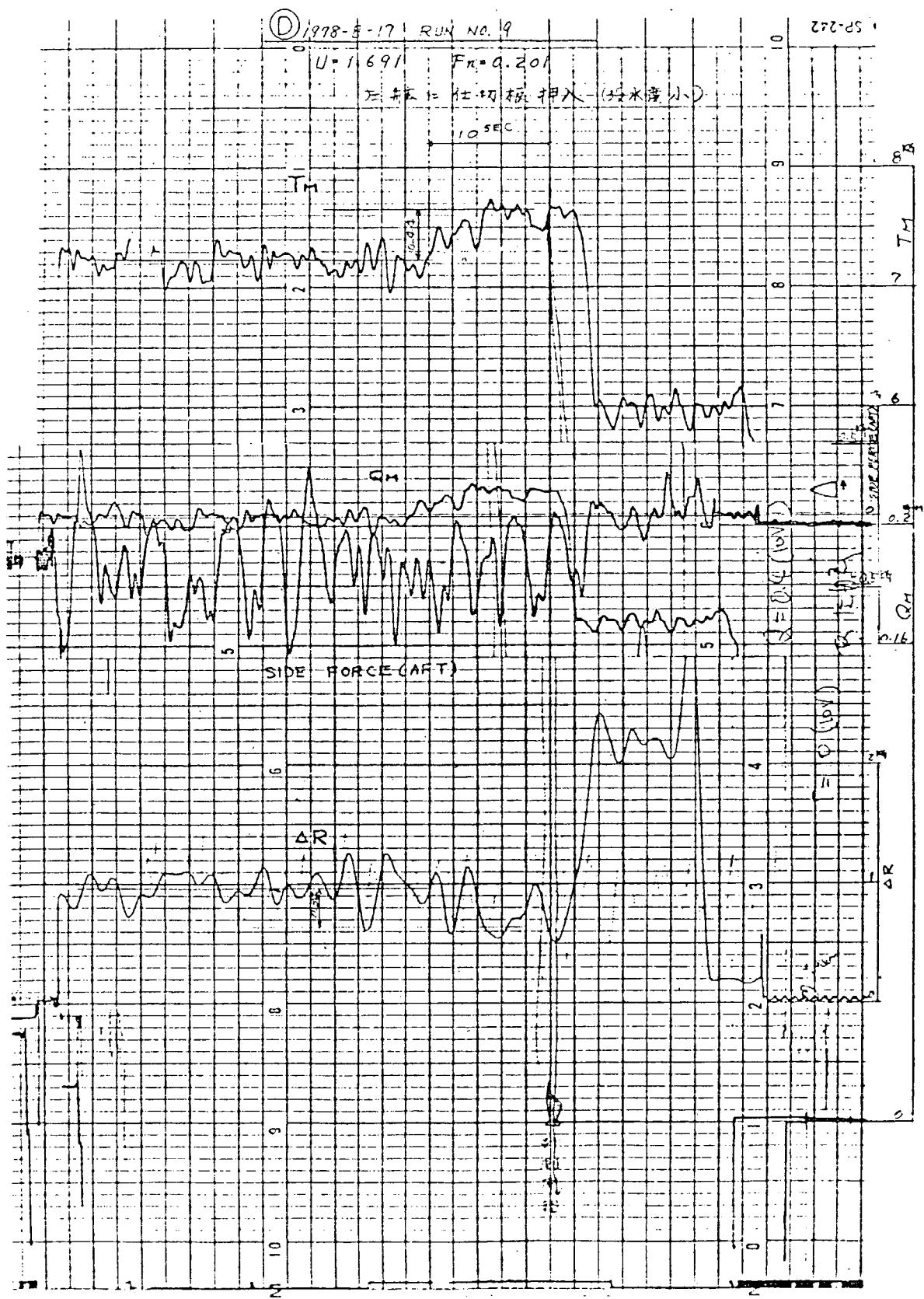


Fig. 3.4.8

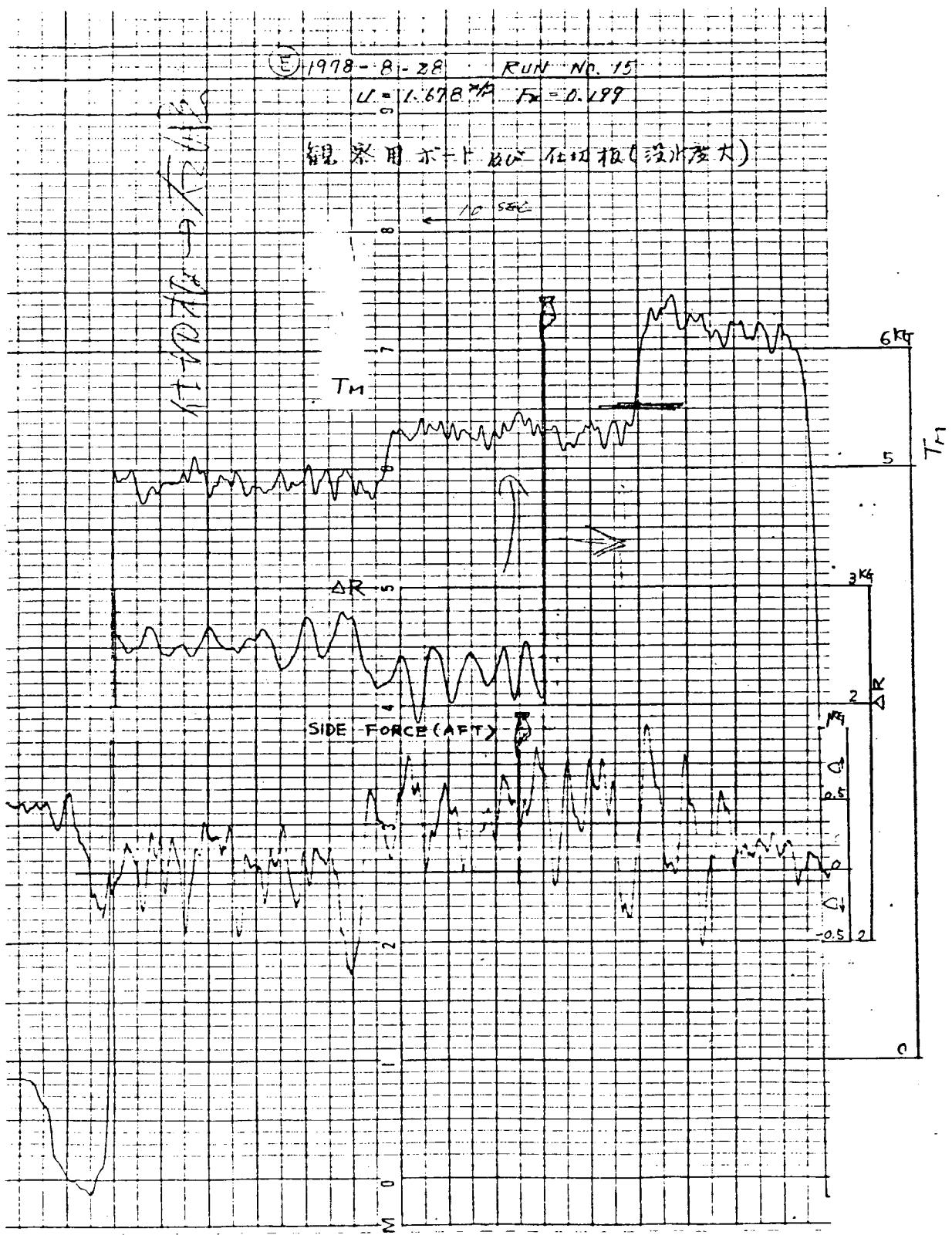


Fig. 3.4.9

3.5 自航試験における不安定現象の尺度影響に関する考察

3.5.1 はじめに

自航試験における不安定現象に関して、水槽試験データから、実船性能を推定するという実用的見地から、最も興味深い問題の1つに、尺度影響の問題がある。

この問題に関しては、その重要性にもかかわらず、詳細はほとんど不明ともいえるが、その主な原因は、データ不足にあるといえるであろう。

本実験は、偶々、実船計測の機会に恵まれたので、6mおよび2.5mの相似模型船の、曳航水槽および回流水槽試験を併せて実施し、それらのデータの比較、検討から、尺度影響について調査を試みたものである。

また、試運転成績結果と、水槽試験結果から予測された実船性能との比較を行い、模型・実船間の相関についても、検討を行ってみた。

3.5.2 試験

(1) 供試船型および試験項目

Table 3.5.1 に供試船型の主要目を、Table 3.5.2 にプロペラ主要目を示す。模型船は $L_{pp} = 2.5 \text{ m}$ と 6.0 m の相似な木製模型船で、模型プロペラは各々の縮尺プロペラを使用した。

Table 3.5.3 に実施した試験項目を示す。

模型船試験は、満載状態と試運転状態の2状態で実施したが、ここでは実船試験データとの比較が可能な、試運転状態の結果のみについて報告する。

(2) 2.5m模型船の試験

(a) 概要

2.5m模型船は、当社の堅型回流水槽において試験を実施した。

まず、曳航状態における船尾流場の左右舷の対称性を調べるため、 $3.2 \phi NPL$ 型5孔管を用いてプロペラ面の伴流計測を行なった。流速は実船常用速度 ($F_n = 0.195$; $V_s = 16.1 \text{ KT}$) である。

次に、自航時の船体表面圧力計測を行ない、スラスト・トルクの変化と、圧力変化との関係を調べた。圧力計測孔は、 S_q ・ S_t ・1より後方の左右舷対称位置に設け、同時に8点ずつ、スラスト・トルクと共に計測した。Fig. 3.5.1 に圧力計測孔位置を示す。 6 m 模型船および実船の圧力計測位置も併せて示す。試験状態は、 $F_n = 0.195$ 、プロペラ回転数 = 1.77 r.p.s. [船の自航点 (MCR)] である。

次に自航状態の、 S_q ・ S_t ・ $3/8$ の船側伴流を5孔管により、左右舷同一位置で、スラスト・トルクと同時に計測した。試験状態は、圧力計測と同一である。

(b) 試験結果

Fig. 3.5.2 にプロペラ面の伴流係数分布および流向ベクトルを示す。曳航状態では流場は、ほぼ左右対称と云える。ついで、自航状態のスラスト・トルクを計測したが、スラスト・トルクがステップ状に変動する不安定現象が見られた。同時に船尾端から流出する波紋の観察を行なったが、従来報告されているように、この波紋は、スラストが高い状態では左舷側に、スラストが低い状態では右舷側に現われた。本船型では、船の自航点 (MCR) 付近では、スラストの高い状態の出現頻度は約70%程度であったが、プロペラ荷重の大きい、模型船の自航点付近では逆にスラストの低い状態が90%以上を占めた。

Fig. 3.5.3 に圧力等の計測例を示す。不安定現象の発生に伴い、船体表面圧力も急変していることがわかる。Fig. 3.5.4 に各断面のフレームラインに沿った無次元圧力分布 $C_p (= 2g(h-h_0))$

$\sqrt{V^2}$ 、 h_0 = 静止時の水頭、 h = 航走時の水頭) を示す。 $S_q, S_t, 1/4$ の左舷の 1 点を除いて圧力は、スラストが高い状態から低い状態に変化すると、左舷の圧力は高い状態から低い状態に、右舷の圧力はその逆の変化をする。また、圧力変動の大きさは、フレームラインに沿い、ほぼ一定で、プロペラから遠ざかる程、小さくなる。

Fig. 3.5.5 に伴流係数分布を、Fig. 3.5.6 に流向ベクトルを示す。曳航状態に比べて船尾流場は非対称となり、特に、スラストの高い状態でそれが顕著で、伴流係数は右舷より、左舷の方が大きい。スラストが低い状態に移ると、左舷側の伴流は減少し、右舷側は増加する。流向ベクトルは、スラストが高い状態から低い状態に移ると、左右舷のいずれも反時計廻りの回転を受けているようである。

(3) 6 m 模型船の試験

(a) 概要

次に、船型試験水槽を用いて、Table 3.5.3 に示した 6 m 模型船の試験を実施した。

伴流計測、及び、圧力計測の試験状態は、2.5 m 模型船のそれと同一である。抵抗、自航試験は、当水槽の標準の方法で実施した。

曳航状態、自航状態、共に、船尾ガイドに働く横力を計測した。

(b) 試験結果と考察

Fig. 3.5.7 に、プロペラ面伴流計測結果を示す。曳航状態の流場は、ほぼ、左右舷対称といえる。船尾横力は、ほとんど計測されなかった。

Fig. 3.5.8 に圧力等の計測記録例を示す。スラスト・トルクが、ステップ状に変化する不安定現象が発生し、それに対応して、圧力、船尾横力も変化をしている。

Fig. 3.5.9 にフレームラインに沿った圧力分布を示す。圧力変動の特徴は、2.5 m 模型と同じである。

船体中心線上の圧力は、スラストの変化に対してほとんど変化していない。

同一計測位置の圧力係数の変化量を、2.5 m 模型船と比べると、6 m 模型船では、約 20 % 程度小さくなっている。連続記録の結果を見ると、2.5 m 模型船の場合とは逆に、スラストの低い流場が出現する割合が多いといえる。すなわち、スラストの低い流場が安定しており、何らかのきっかけで、スラストの高い流場に移行し、その状態が、数十秒継続した後、再びスラストの低い流場に戻るという、プロセスを繰り返している。

Fig. 3.5.10 に自航要素および、船尾横力の無次元値 y_A ($= Y_A / \frac{1}{2} \rho \nabla \frac{V^2}{3}$) を示す。横力は、左舷から右舷向きを正とする。スラスト・トルク、および摩擦修正量は互に強い相関を持って変化しており、自航要素の解析等には、各々の対応する計測値を用いた。 $1 - w_T$ は、スラストの高、低に対応して明確に 2 つのグループに別れる。 $1 - t$ 、 η_R も、2 つの平均線が引ける。船尾横力は、スラストが高い状態では、船尾を左舷から右舷へ押す方向へ、スラストが低い場合はその逆の方向に作用しており、左右舷の圧力の大小と一致している。また船尾波紋は、2.5 m 模型船のように明確ではなくなるが、注意して観察すると、スラストの高い状態では左舷側へ、低い状態では右舷側へ流出していることが認められた。

(4) 実船試験

(a) 概要

今回の実船試験は、

- ① 実船において、不安定現象が発生するか否かを、実験的に確かめること。
- ② 試運転解析の結果を利用し、水槽試験で不安定現象の発生する船型の、適切と思われる実船性能の推定方法を、検討すること。

を主要な目的とした。

実船試験では、不安定現象を、どのような方法で計測するかが、重要な問題となるが、水槽試験結果、ならびに、計測技術上の困難等を考慮し、船体表面圧力および軸トルクの計測から、不安定現象発生の有無を、判断することとした。また、外乱の影響が大きいと思われる所以、可能なかぎり、広範囲な外乱の計測を行い、計測値に対して、より適正な判断を下せるよう配慮した。

実施した試験を、Table 3.5.3 に示す。

船体表面圧力は、左右舷の同一位置 3ヶ所（計測孔合計 6ヶ所）で、同時計測を行った。計測孔位置の詳細を Fig. 3.5.1.1 に示す。

計測項目、記録方法等を、Fig. 3.5.1.2 の計測系統図に示す。また、試験状態等を、Table 3.5.4 に示す。

船尾喫水は、7.4 m および 8.1 m の 2 状態、主機馬力は、MCR、NSR および 75% MCR の 3 状態で、試験を行った。

データの解析は、計測項目の中から、船体表面圧力 P_i ($i = 1, 6$)、軸トルク、舵角、heave および roll をえらび、(1)平均値、(2)フーリエ級数、(3)オートパワースペクトル、(4)相関係数を求めた。

(b) 計測例および考察

計測ならびに、解析データを通覧した結果、特に他と傾向の異なる試験状態は見当らなかったので、船尾喫水の浅い（7.4 m）、最大主機出力時（試験番号 3-5）の計測データを、例として示し、検討、考察を行なうこととする。試験番号 3-5 の、海象状況等を Table 3.5.5 に示す。

(i) 計測例

Fig. 3.5.1.3 に、10 Hz のローパスフィルターを通した、船体表面圧力、軸トルク、舵角、heave、roll の連続記録を示す。また、これと対応した時刻に、30 秒間隔で、目視により計測された、風向、風速、船速（電磁ログによる）、軸回転数、ターボチャージャ回転数、およびポンプマークの記録を、Fig. 3.5.1.4 および 3.5.1.5 に示す。

(ii) 軸トルク

軸トルクの平均値は、57.1 ton-m、変動の両振巾は、約 4.0 ton-m で、変動率 ($\Delta Q / \bar{Q}$) は、約 7 % である。

連続記録からは、水槽試験で計測された、ステップ状の変化は認められない。

トルク変動のパワースペクトルを Fig. 3.5.1.6 に示す。

0.2 Hz 以下に、エネルギーが集中しており、ピーク周波数は、0.05 Hz 以下と、0.05 Hz ~ 0.02 Hz の 2 周波数域に分けられる。

トルクの変動の原因の 1 つに、機関出力の変化が考えられる。馬力とはほぼ直線関係にある、ターボチャージャ回転数 (TC)、およびポンプマーク (PM) は、Fig. 3.5.1.4 から、5 % 程度の変動があるので、馬力にも、同程度の変化が考えられる。本船の主機は、ガバナーにより、軸回転数が制御されているので、軸回転数は、あまり変化せず、馬力の変化は、軸トルクの変化として計測される。

TC、PM の変動周期は、連続記録がないので、正確にはわからないが、PM には、1 ~ 2 分程度の、かなり長周期 (0.008 ~ 0.017 Hz) の変動が認められ、これが軸トルク変動の 0.05 Hz 以下の低周波成分に対応していると考えられる。

また船体運動は、伴流変化、およびそれに応じた、プロペラの負荷変動をひきおこすと考えられる。

heave および roll のパワースペクトルを、Fig. 3.5.1.7 および Fig. 3.5.1.8 に示す。heave では 0.08 Hz、0.12 Hz および 0.17 Hz、roll では、0.08 Hz 近傍にピー

ク値がある。

トルク変動のスペクトルのピーク周波数と比較すると、船体運動もトルク変動の有力な原因の一つと考えることができる。

このように、船体運動およびP.M等の変化が、トルク変動に主要な影響を与えていると推定されたが、トルク変動のその他の原因、すなわち、不安定現象が発生しているか否かは、このデータだけでは不明である。

(iii) 船体表面圧力

圧力変換器がTable 3.5.4 のX印に示すように、次々に損傷を受け、試験番号3-5の計測時には、 P_3 、 P_4 および P_5 のみが計測可能であった。損傷の原因については、船体運動、波、外板振動等に基づく過負荷と推定されたが、詳細は不明である。

連続記録をみると、軸トルク同様スナップ状の変化は計測されず、周期的な変動を示している。

P_3 、 P_4 の相関係数をFig. 3.5.19に示す。横軸では、 P_3 、 P_4 間の時間間隔を示す。 $\tau = 0$ で正の相関を示した。他の試験状態の P_3 、 P_4 の相関を求めてみたが、すべて正の相関を示し、逆相関を示した例は1つもなかった。

水槽試験では、不安定現象が発生した際、左右舷の同一位置における船体表面圧力は、必ず、逆相関をもつような変化を示すことを考えると、実船では、

① 不安定現象が発生していない。

② 不安定現象が発生していても、 P_3 、 P_4 に同相の変化を与える外乱に比べて影響が小さい。の2つの場合を考えられる。①、②のいずれかは不明であるが、今回の実船試験の外乱状況は、ごく通常の程度であることを考えると、実際問題としては、不安定現象は生じていないと考えてよいようと思われる。

P_3 、 P_4 および P_5 のパワースペクトルをFig. 3.5.20、Fig. 3.5.21 および Fig. 3.5.22に示す。

右舷側の P_3 、 P_5 は非常によく似たスペクトルを示し、0.1 Hz および 0.15 Hz 付近にピークを持つ。 P_4 はやや複雑なスペクトルを示し、0.075 Hz、0.10 Hz および 0.15 Hz にピークを持ち、幅も、0.2 Hz 程度まで広がっている。

heave および roll のピーク周波数(0.08 Hz、0.12 Hz、および 0.17 Hz)と比較すると、圧力変動の主要な原因の一つは、船体運動にあると推定される。

また、舵角の圧力変動への影響を調べるために、 P_3 と舵角の相関を求めたが、相関はほとんど認められず、舵角の圧力変動への影響は小さいと思われる。

P_3 、 P_4 の平均値は、計測誤差をはるかに超えた差異を示した。Table 3.5.6 に、各試験状態の P_3 、 P_4 の平均値、その差、軸回転数、プロペラ荷重、往復航の別、舵角平均位置を示す。 P_3 、 P_4 の平均値は、すべての試験状態で、符号の異った値をとっており、その差は水頭にして最大 6 m にも達する場合がある。

75% MCR では右舷側が、MCR では左舷側が高いが、NSR では、往・復航で大小関係を入れかわっている。プロペラ荷重 CT (= $T / \rho V_s^2 D^2$) は、各試験状態で、平均値はほぼ 0.6、舵角は平均 1 ~ 3° 左舷側であるが、いづれも、 P_3 、 P_4 の平均値が異なることとの相関は考えにくい。

P_3 、 P_4 付近の流場は、左右舷で非対称と推定されるが、その原因、非対称流場の範囲等の詳細は不明である。

Fig. 3.5.9 に模型船データとの比較を示す。

(5) 予測性能と試運転結果の比較

(3)で求めた自航要素を使用し、実船の馬力推定を試みた。計算はスラストの高い状態、低い状態の各々について、当研究室の標準手法により解析した。

計算結果をFig. 3.5.2.3に示す。試運転計測結果を④印で示す。回転数は、高いスラスト、低いスラストのいずれの自航要素を用いてもあまり差がなく、75% MCRを除いて、試運転結果とはよく一致している。

馬力は、75% MCRは、高いスラストの自航要素を、NSRおよびMCRは、低いスラストの自航要素を用いて推定した値が、試運転結果との一致はよい。

最後に、実船性能を推定する際、有効伴流係数の大、小いづれの値を選択すれば、実船試運転結果との対応が良好であるかの問題に関し、本章の結論が、3.6の結論と異なっている原因について、若干の考察を行なってみた。

SRCJおよびNKK水槽の有効伴流係数($1 - W_T$)の比較を、Fig. 3.5.1.0に示す。両水槽の計測値は幾らか異なり、

$$(1 - W_T)_{NKK}^{\text{小}} < (1 - W_T)_{SRCJ}^{\text{小}} < (1 - W_T)_{NKK}^{\text{大}} < (1 - W_T)_{SRCJ}^{\text{大}}$$

となっている。

伴流係数の大、小いづれかの値を選択するという観点からは、SRCJ水槽では、 $(1 - W_T)_{SRCJ}^{\text{小}}$ (スラスト大)、NKK水槽では $(1 - W_T)_{NKK}^{\text{大}}$ (スラスト小)と全く反対の結論となるが、Fig. 3.5.1.0のように、各水槽の固有の特性により、計測値が異なりうこと、試運転計測結果にも誤差を伴うこと等を考えれば、数値的には幾らか異なっているが、 $(1 - W_T)_{SRCJ}^{\text{小}}$ 、 $(1 - W_T)_{NKK}^{\text{大}}$ がそれぞれの水槽のデータを使う場合、実船試運転結果と、比較的よく合う結果を与えることは、充分に考えられよう。

このように、各水槽に固有の特性があり、それをベースにした、実船性能の推定法は、各水槽独自のプラクティスと考えるべきであろう。したがって、例えば、 $(1 - W_T)_{SRCJ}^{\text{大}}$ (スラスト小)が、良好な実船予測値を与える場合、流体力学的な、実船の船尾流場も、模型船で計測された $(1 - W_T)_{SRCJ}^{\text{大}}$ の、尺度影響を考慮した流場になっているか否かは、不安定現象に関する多くの未解決の問題をかかえ、実船の流場調査データが少ない状況では、全く別の問題と考えるのが妥当と思われる。なお、解析に使用した△CFおよび実船・模型船の伴流比を、Fig. 3.5.2.3に示す。

3.5.3 結 言

試験結果は、以下のように要約される。

<水槽試験>

- (1) 曲航状態で、流場は、左右舷で対称であるといえる。
- (2) 2.5 m、6 mのいづれの模型船においても、不安定現象が発生する。船体表面圧力の計測結果から、この現象が、船尾の比較的限定された領域(SS.1より後方)の流場の変化に起因すると推定される。
- (3) 不安定現象の発生に伴い、左右舷の同一位置の圧力は、逆相関の変化を示す。圧力係数の変化(ニスラストの高い時の圧力-スラストの低い時の圧力)は、模型船が大きくなると、減少する傾向をもつ。
- (4) 2.5 m模型船では、スラストの高い流場、6 m模型船では、スラストの低い流場が出現する頻度が多い。

<実船試験>

- (5) 軸トルクおよび船体表面圧力の計測結果は、水槽試験で観察されたような、明白なステップ状の変化は示さず、周期的な変動を示す。

- (6) この変動の主因は、船体運動および燃料消費量の変動等の外乱にあると推定される。
- (7) 不安定現象の発生の有無は、明確には判定出来ないが、発生していたとしても、流場への影響は、通常程度の外乱の影響にくらべて、小さいと思われる。
- (8) P_3 、 P_4 位置の、船体表面圧力の平均値は、かなりの差異を示す。流場は、非対称になっていると思われるが、その範囲、原因等の推定はできなかった。
- 〈模型・実船間の相関〉
- (9) プロペラ回転数は、スラストの高、低のいづれの自航要素を用いて推定しても、大きな差はなく、75% MCRを除いて、試運転結果との一致もよい。
- (10) 馬力は、75% MCRは、高いスラストの自航要素を、NSR、MCRは、低いスラストの自航要素を用いた推定値が、試運転結果と比較的よい一致を示す。
ここに得られた結論からは、不安定現象は、船長（あるいはレイノルズ数）とともに、その程度が減少し、実船では、スラストの低い流場になっているようにも推測される。しかし、特に、実船試験結果については、一船型の限られた計測項目および手法に基づくものであり、どの程度の普遍性をもつものかは明確ではない。
この点が今後の重要な課題と考える。

Table 3.5.1 Principal Particulars of
Ship (Ballast Condition).

L _{pp}	184.5 M
B	30.4 M
dA	7.40 M
dM	6.42 M
dF	5.44 M
C _p	0.7760
C _b	0.7705
C _m	0.9930
C _w	0.8381
I. c. b.	3.220 M(FORE)

Table 3.5.2 Principal Particulars of Propeller.

DIAMETER	5.5 M
PITCH (CONST.)	3.41 M
PITCH RATIO	0.6200
EXP. AREA RATIO	0.580
BOSS RATIO	0.1673
BL. THICKNESS RATIO	0.0547
NO OF BLADE	4
BLADE SECTION	MAU- MS
RAKE ANGLE	8.0°
DIRECTION OF ROTATION	RIGHT-HANDED

Table 3.5.3 Kind of Tests.

TANK LENGTH OF SHIP OR MODEL (Lbp)	TESTS FOR SHIP MODELS			TESTS FOR AN ACTUAL SHIP
	CIRCULATING CHANNEL	WATER TOWING	TANK	
2.5 M		6.0 M		184.5 M

◦ MEASUREMENT OF HULL SURFACE PRESSURE
 ◦ MEASUREMENT OF FLOW AROUND THE STERN
 ◦ WAKE SURVEY

◦ RESISTANCE TEST
 ◦ SELF PROPULSION TEST
 ◦ MEASUREMENT OF HULL SURFACE PRESSURE
 ◦ WAKE SURVEY

◦ SPEED TRIAL
 ◦ MEASUREMENT OF HULL SURFACE PRESSURE
 ◦ MEASUREMENT OF TORQUE OF PROPELLER SHAFT
 ◦ MEASUREMENT OF SHIP MOTIONS

◦ MEASUREMENT OF SIDE FORCE AT STERN

Table 3.5.4 Test Condition and Schedule.

EXP. NO.	KIND OF TESTS	DATE	AFT DRAFT (M)	R.P.M. OF PROP. SHAFT	POSITION OF PRES- SURE TRANSDUCERS						NOTE
					P1	P2	P3	P4	P5	P6	
1	PRESSURE MEASUREMENT	S.52.3. 9	14:45 ~ 16:15	7.40	142.5	○	○	○	○	○	
2		•	18:45 ~ 20:15	8.10	•	○	○	○	○	○	
3-1	•	S.52.3.14	11:30 ~ 12:15	7.40	75% MCR 136.5	○	○	○	○	○	SPEED TRIAL (from N.E. to S.W.)
3-2	•	•	12:15 ~ 13:00	•	•	○	○	○	•	•	(" SW " N.E.)
3-3	•	•	13:00 ~ 13:45	•	NSR 142.5	○	○	○	•	•	(" N.E. + SW)
3-4	•	•	13:45 ~ 14:30	•	•	○	○	○	•	•	(" S.W. + N.E.)
3-5	•	•	14:30 ~ 15:15	•	MCR 150.5	○	○	○	•	•	(" N.E. + S.W.)
3-6	•	•	15:15 ~ 16:00	•	•	○	○	○	•	•	(" S.W. + N.E.)
3-7	STEER.GEAR TEST	•	16:15 ~ 16:45	•	•	○	○	○	○	○	
4	INVERSE SPIRAL TEST	S.52.3.15	10:30 ~ 11:30	8.10	142.5	○	○	○	○	○	SHIMIZU ~ TSU BRING
5-1	PRESSURE MEASUREMENT	•	13:00 ~ 13:30	•	136.5	○	○	○	○	○	"
5-2	•	•	13:30 ~ 14:00	•	142.5	○	○	○	○	○	"
5-3	•	•	14:00 ~ 14:30	•	150.5	○	○	○	○	○	"

Table 3.5.5 Sea Condition etc.

DATE	MAR. 14, 1977
PLACE	SAGAMI BAY
DEPTH OF SEA	600~800 M
WEATHER	FINE
SEA CONDITION	SLIGHT
WIND	SE. 3 M/S.

Table 3.5.6 Mean Values of P3 and P4

LOAD	EXP. No.	P4 (PORT)	P3 (STAR)	P4 - P3	$\bar{\epsilon}$	CT	dA
		Kg/cm ²	Kg / cm ²	Kg / cm ²	Deg.	T/ $\rho V_s^2 D^2$	M
75% MCR (Np=136.5rpm)	3-1	-0.243	0.343	-0.586	—	0.52	7.4
	3-2	-0.190	0.157	-0.347	-2.7	0.67	
N S R (Np=1425rpm)	3-3	-0.179	0.072	-0.251	-1.1	0.55	7.4
	3-4	0.158	-0.089	0.247	-2.6	0.64	
M C R (Np=150.5rpm)	3-5	0.168	-0.220	0.388	-1.8	0.58	7.4
	3-6	0.145	-0.366	0.511	-2.2	0.63	

◎,◎	ACTUAL SHIP
◎,○	2.5 M MODEL
○,◎,◎,●	6 M MODEL

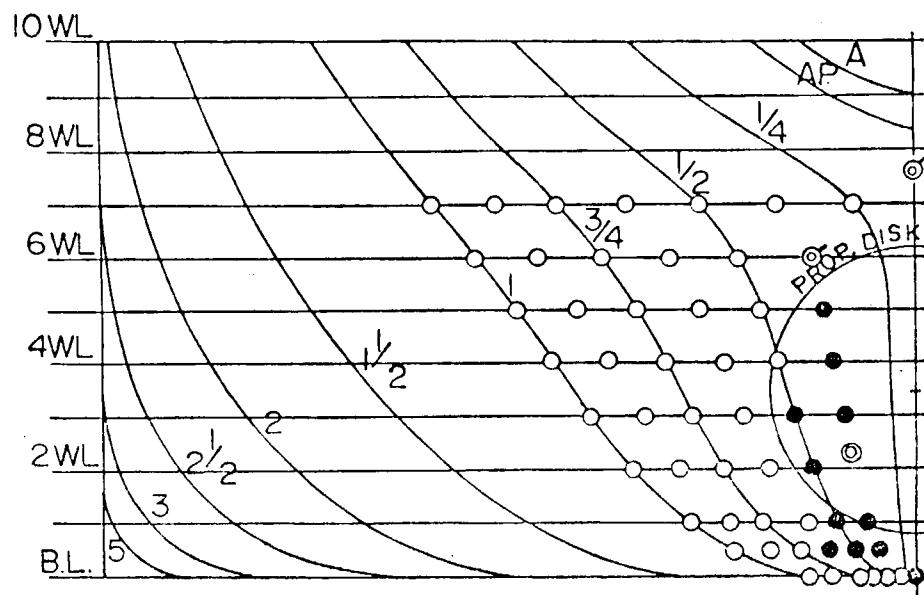


Fig. 3.5.1 Position of Pressure Holes

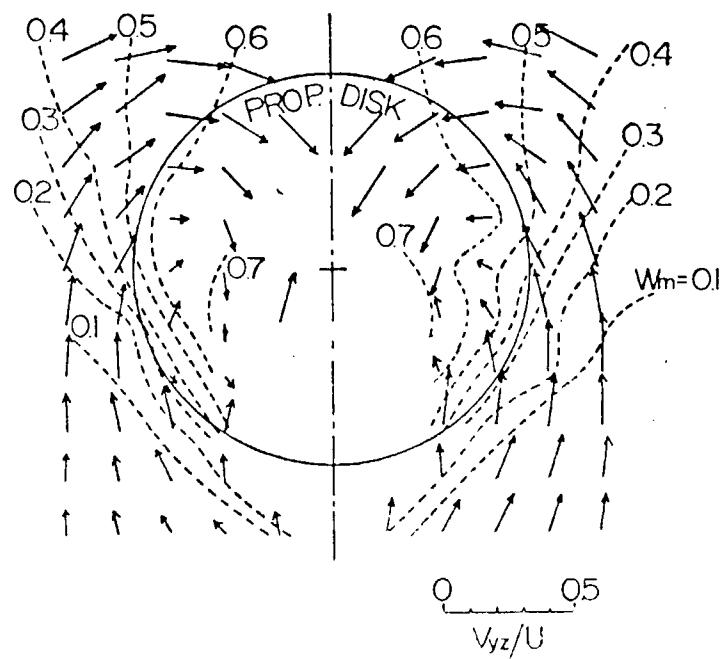


Fig. 3.5.2 Flow Pattern at Propeller Plane of 2.5M Model

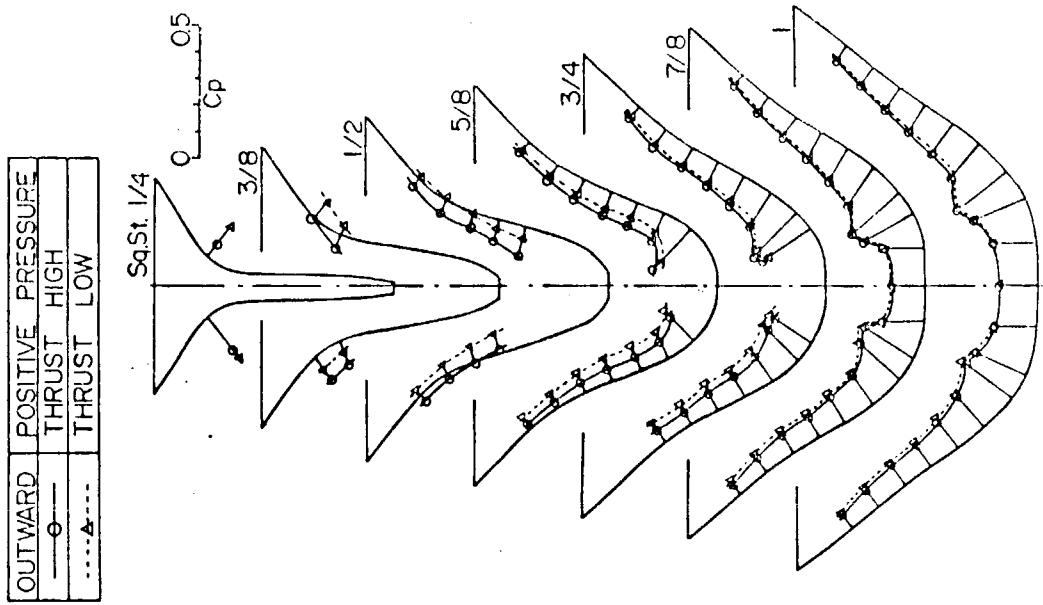


Fig. 3.5.4 Pressure Distribution (2.5M Model).

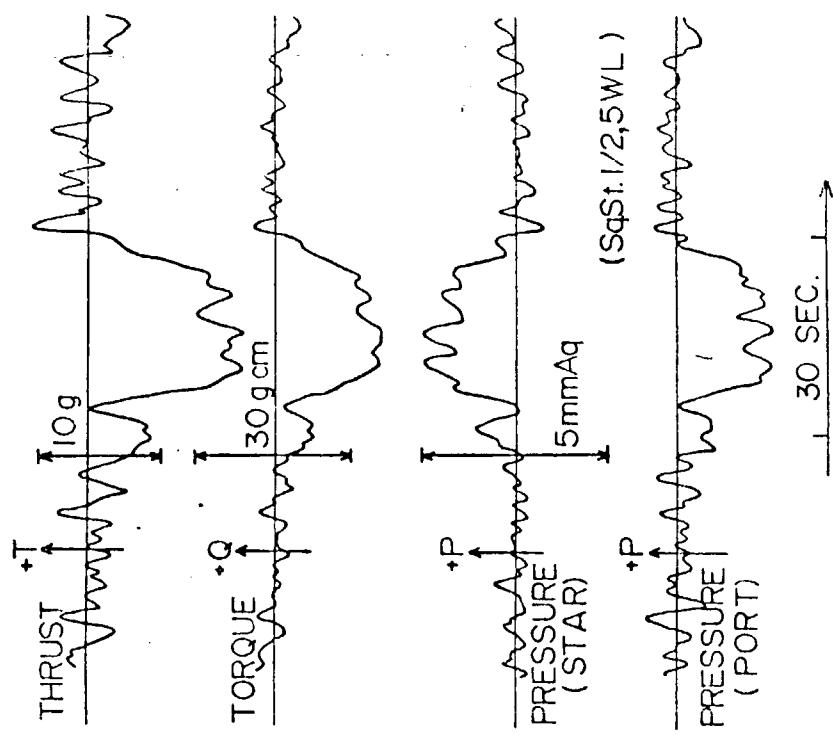


Fig. 3.5.3 Typical Records of Thrust, Torque and Pressure (2.5M Model).

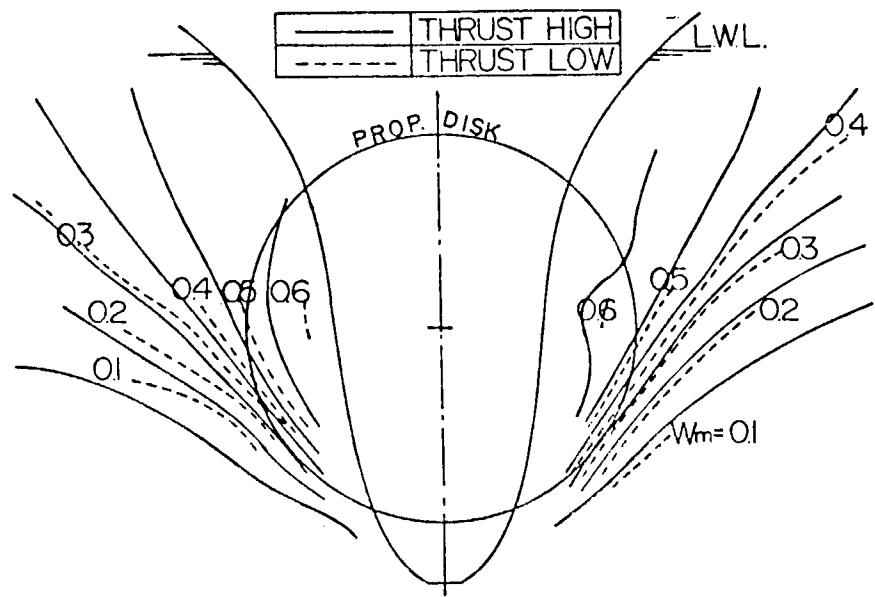


Fig. 3.5.5 Wake Distribution at Sq. St. 3/8

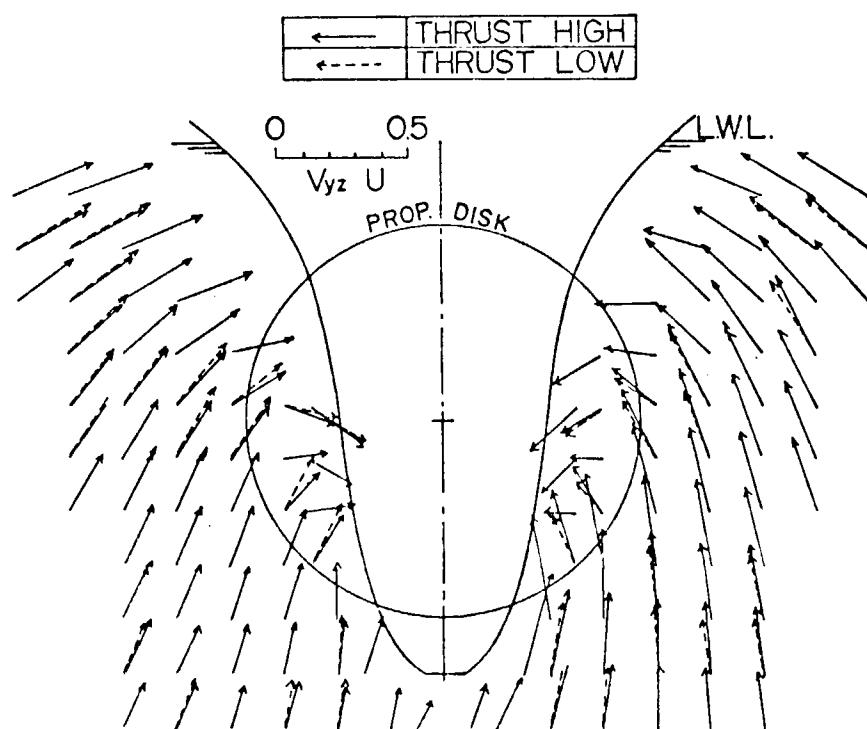


Fig. 3.5.6 Velocity Vectors Representation at Sq. St. 3/8
(2.5M Model)

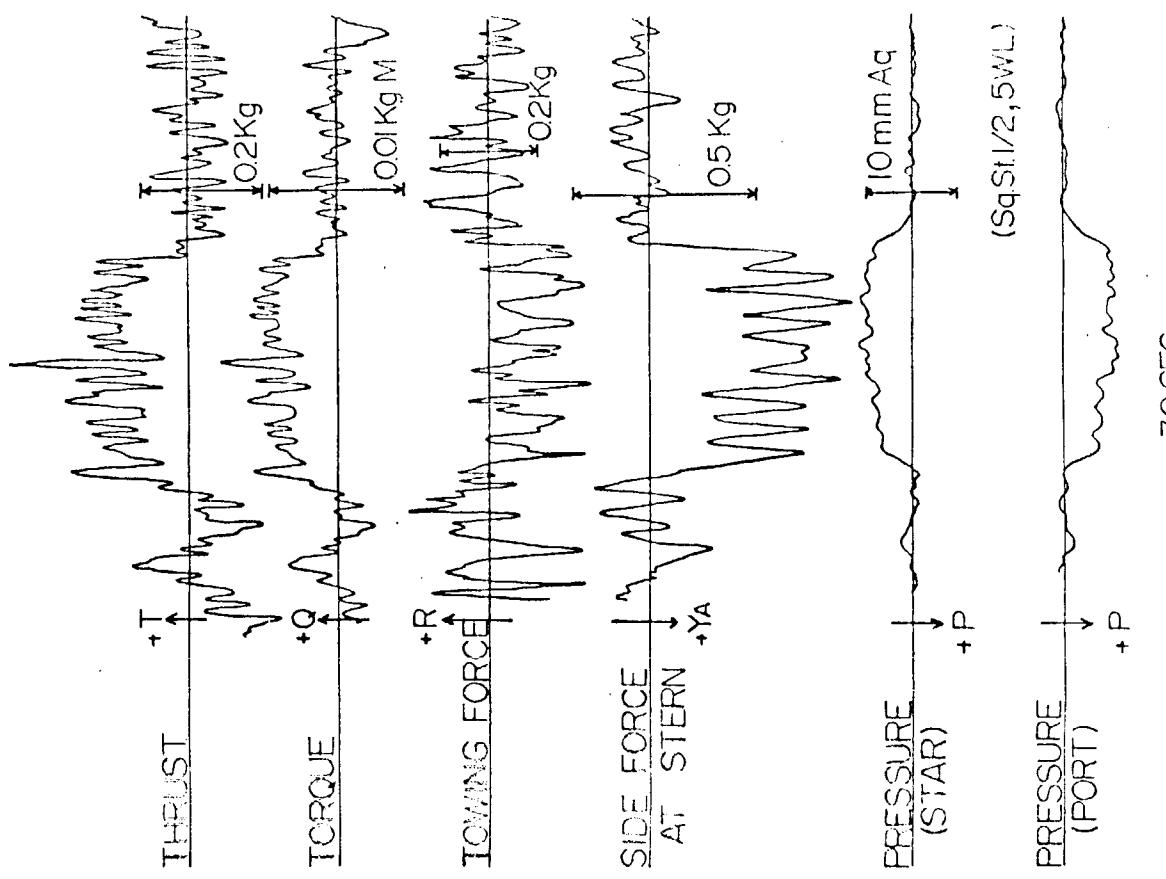


Fig. 3.5.8 Typical Records of Thrust, Torque and Pressure
(6M Model).

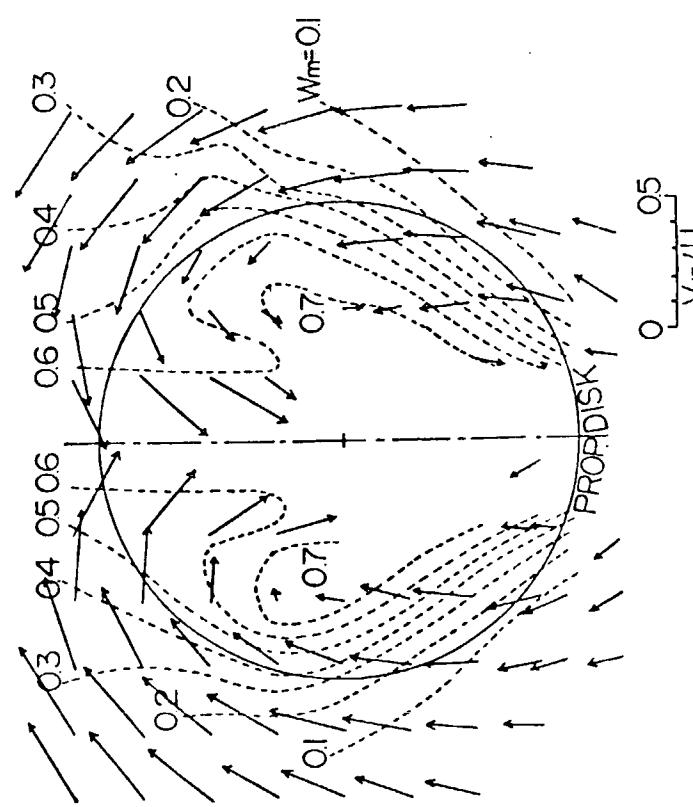
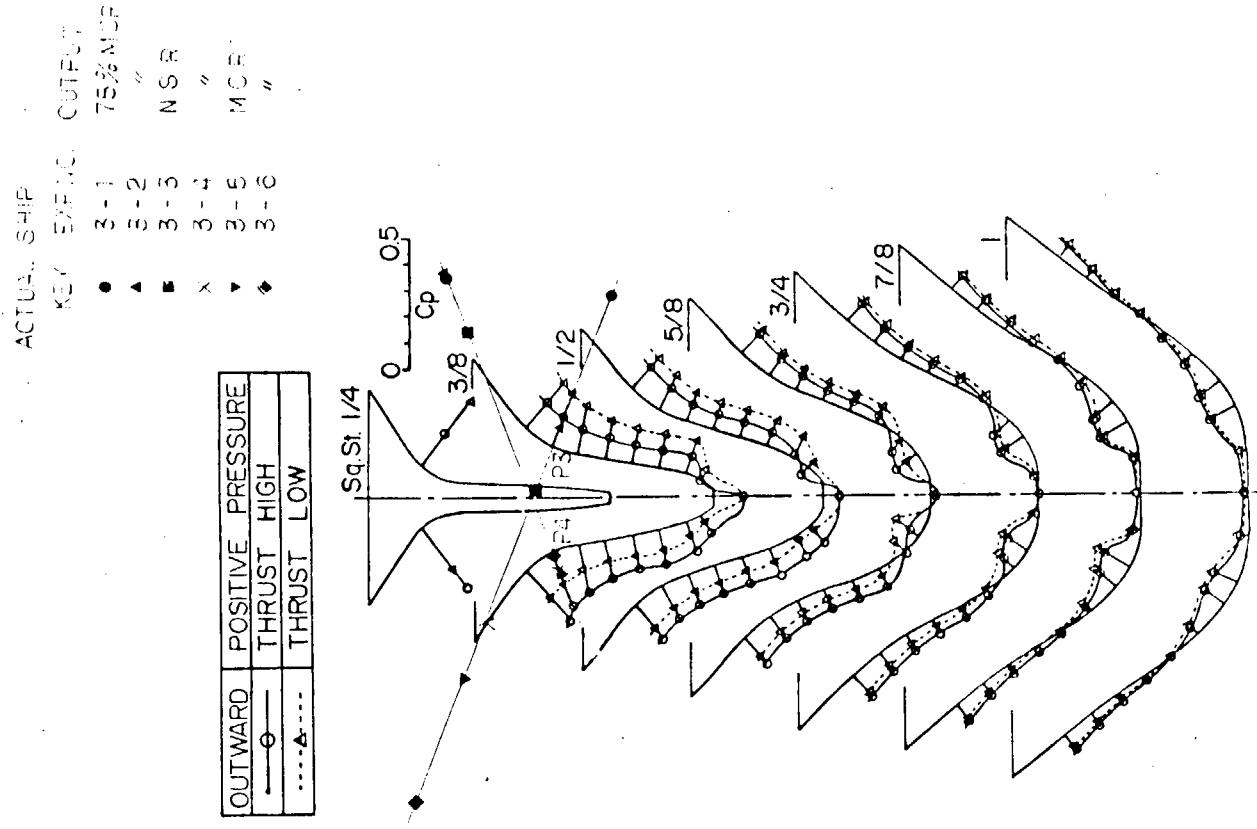


Fig. 3.5.7 Flow Pattern at Propeller Plane
of 6M Model.



- 49 -

Fig. 3.5.9 Pressure Distribution (6M Model).

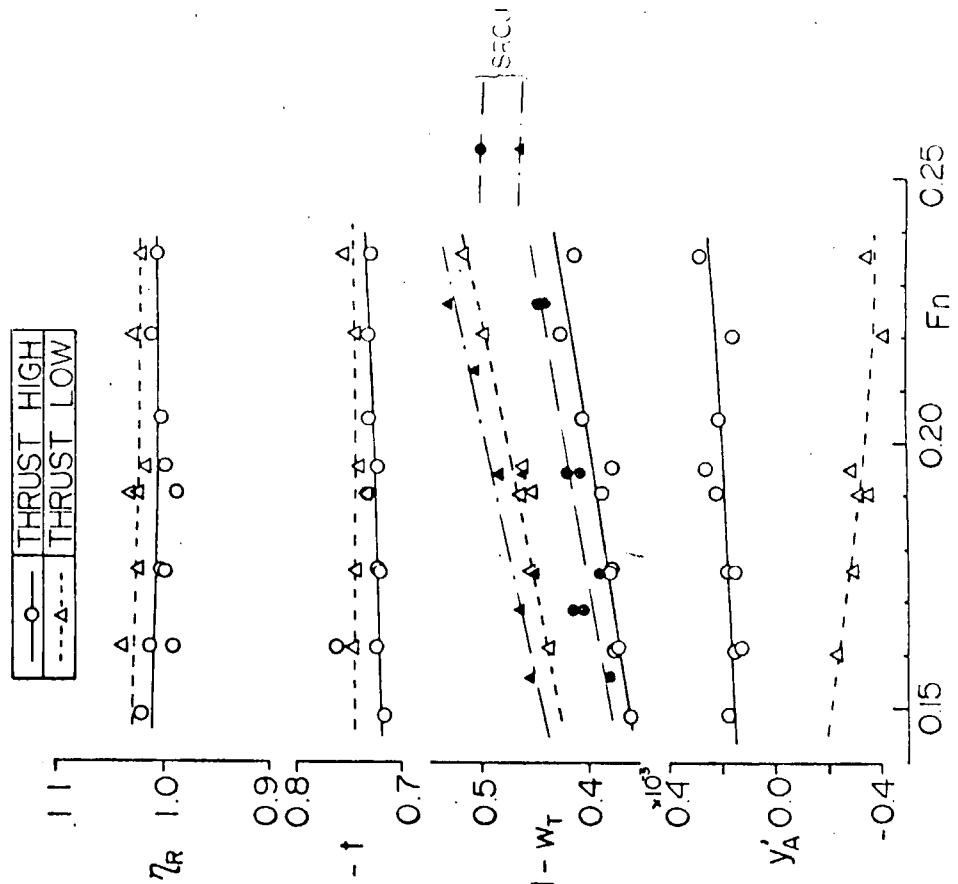


Fig. 3.5.10 Self-Propulsion Factors.

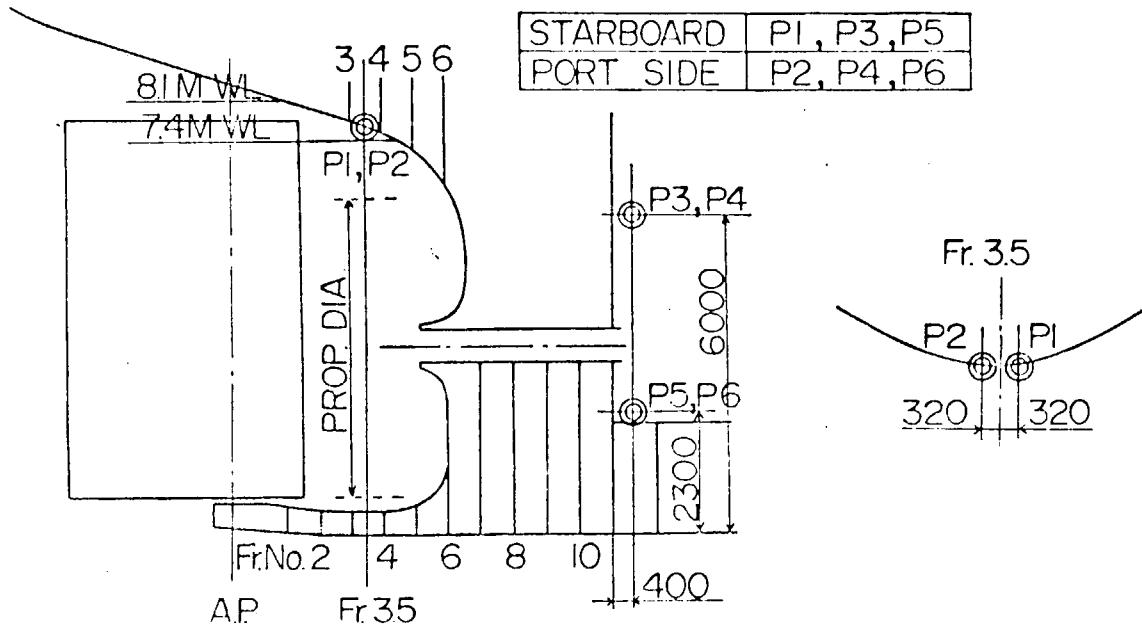


Fig. 3.5.11 Position of Pressure Holes

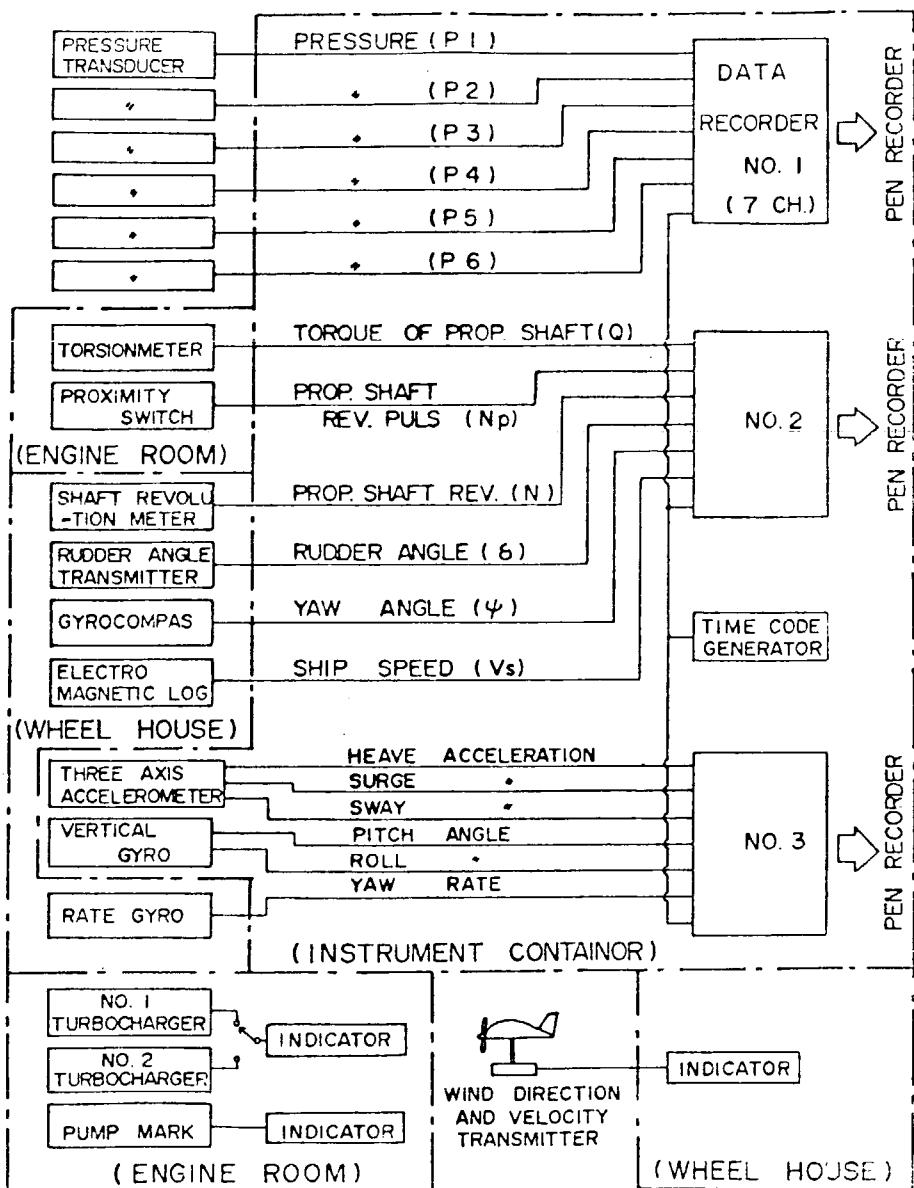


Fig. 3.5.12 Test Block Diagram.

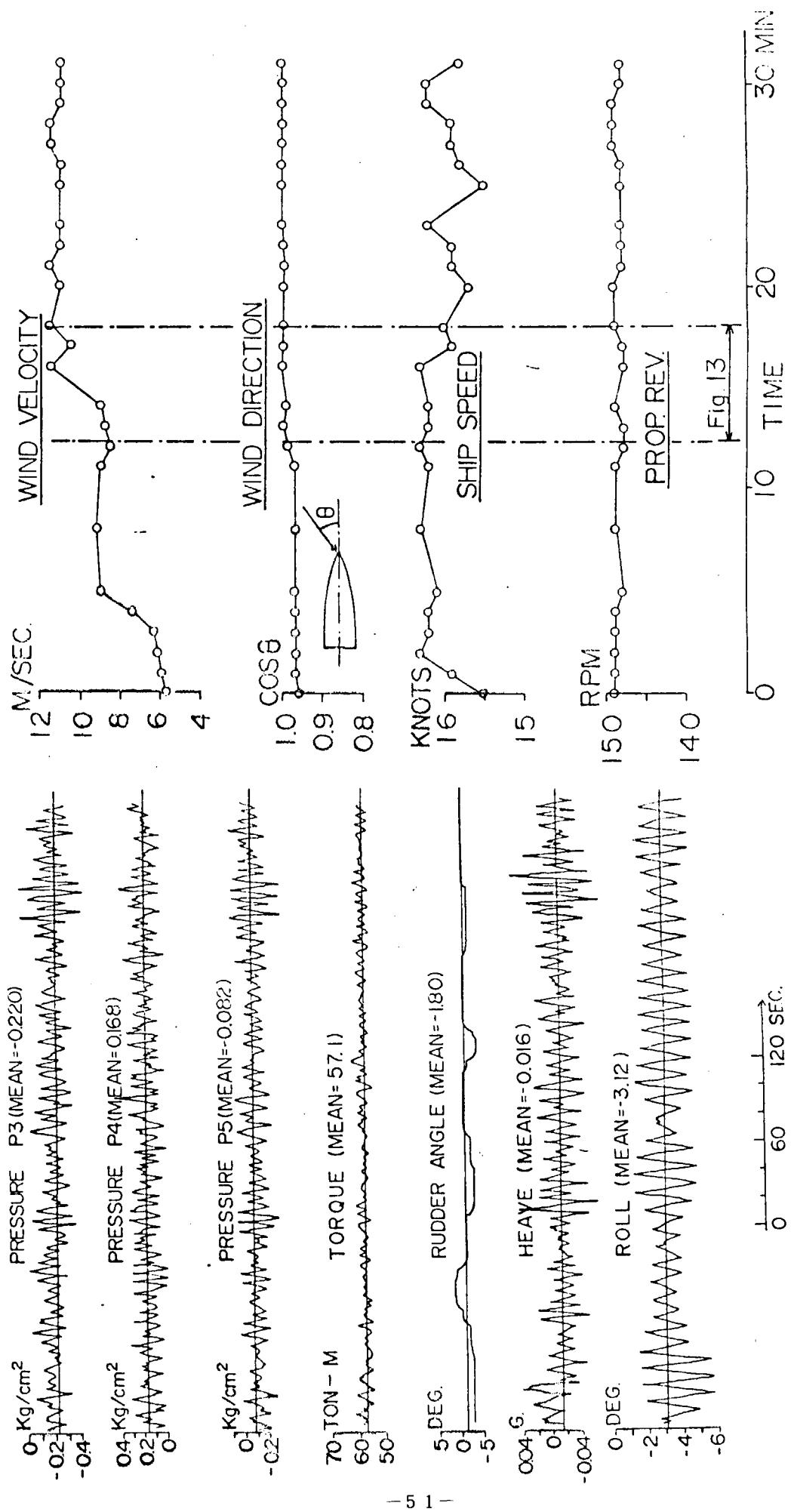


Fig. 3.5.13 Typical Records of Torque and Pressure etc.

Fig. 3.5.14 Records of Wind Velocity etc.

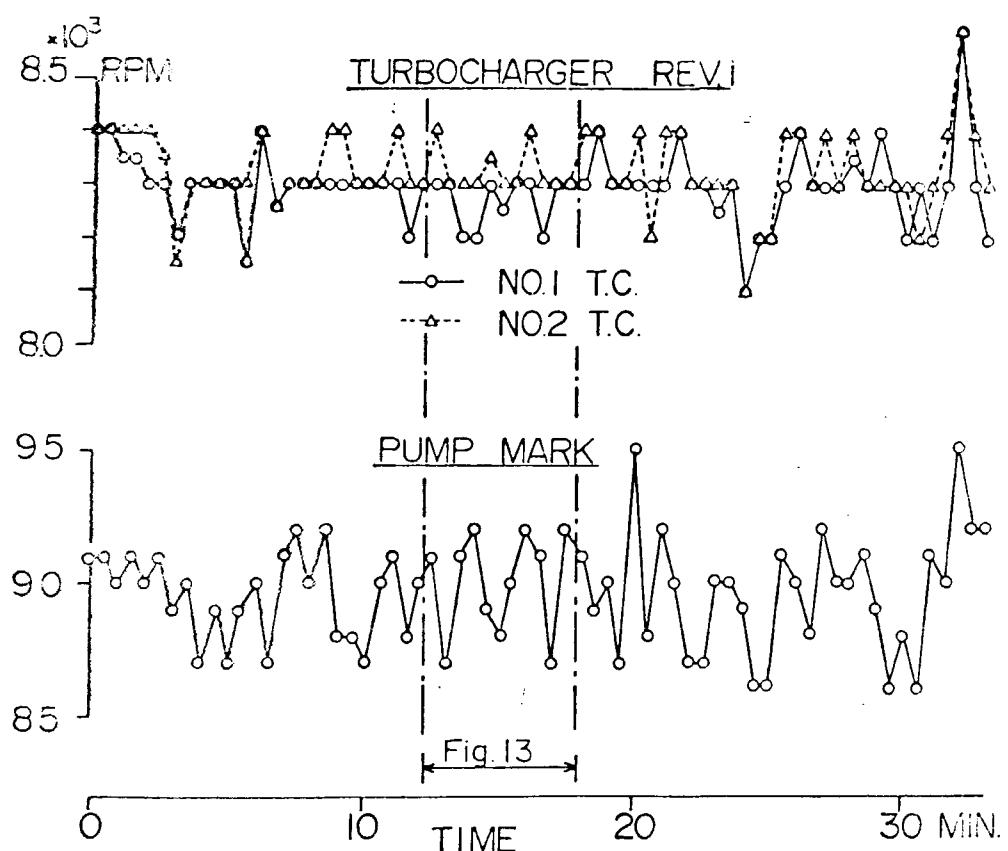


Fig. 3.5.15 Records of Turbocharger Revolution and Pump Mark.

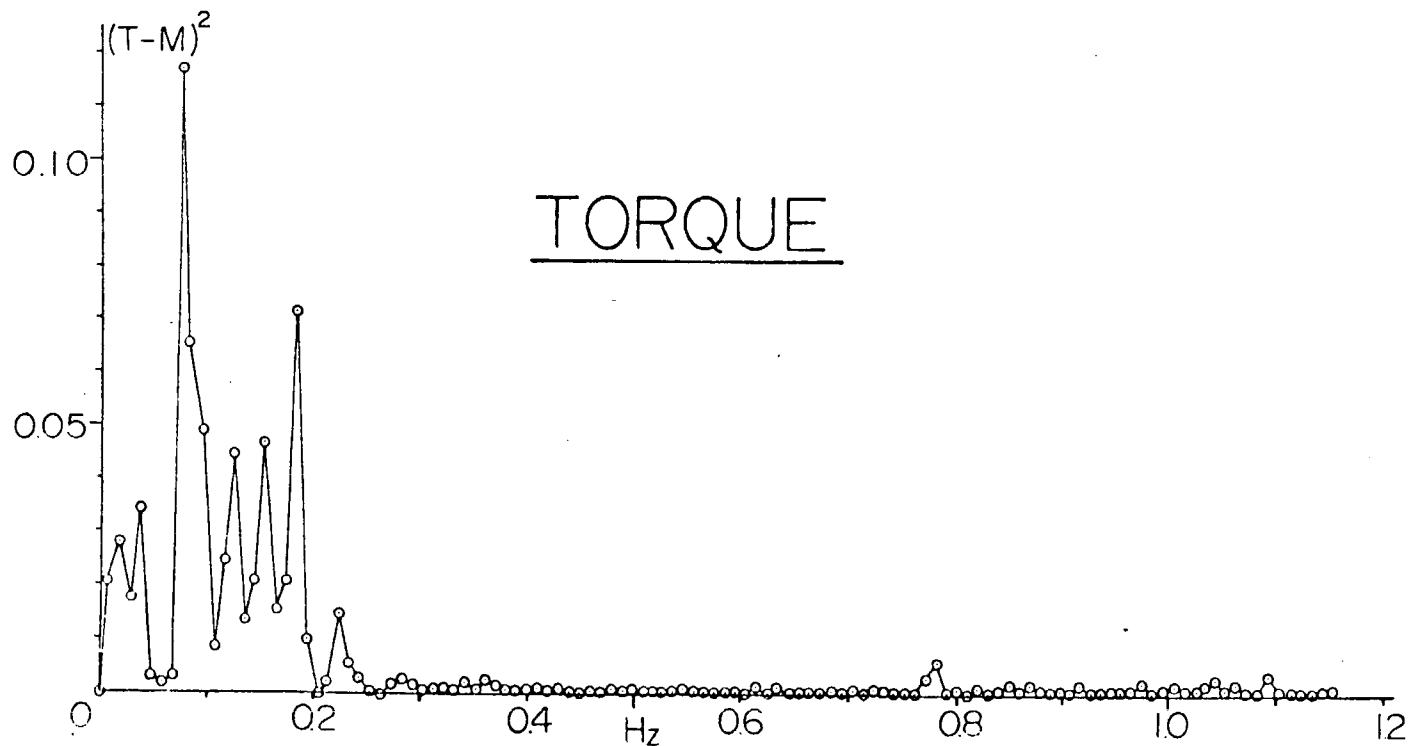


Fig. 3.5.16 Power Spectrum of Torque.

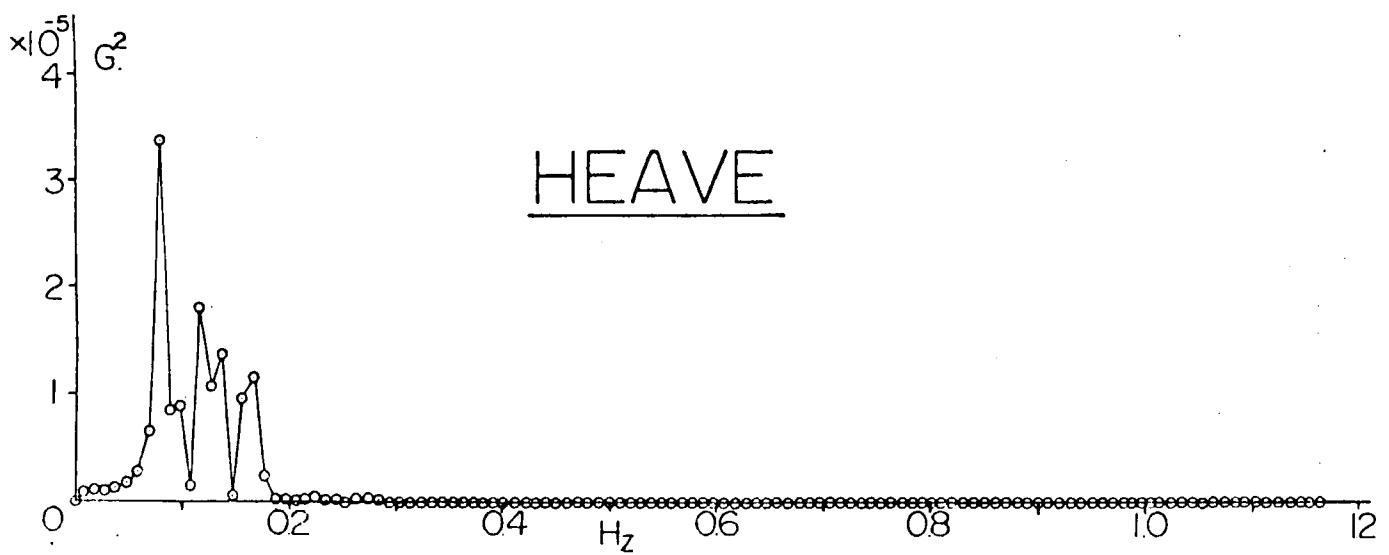


Fig. 3.5.17 Power Spectrum of Heave.

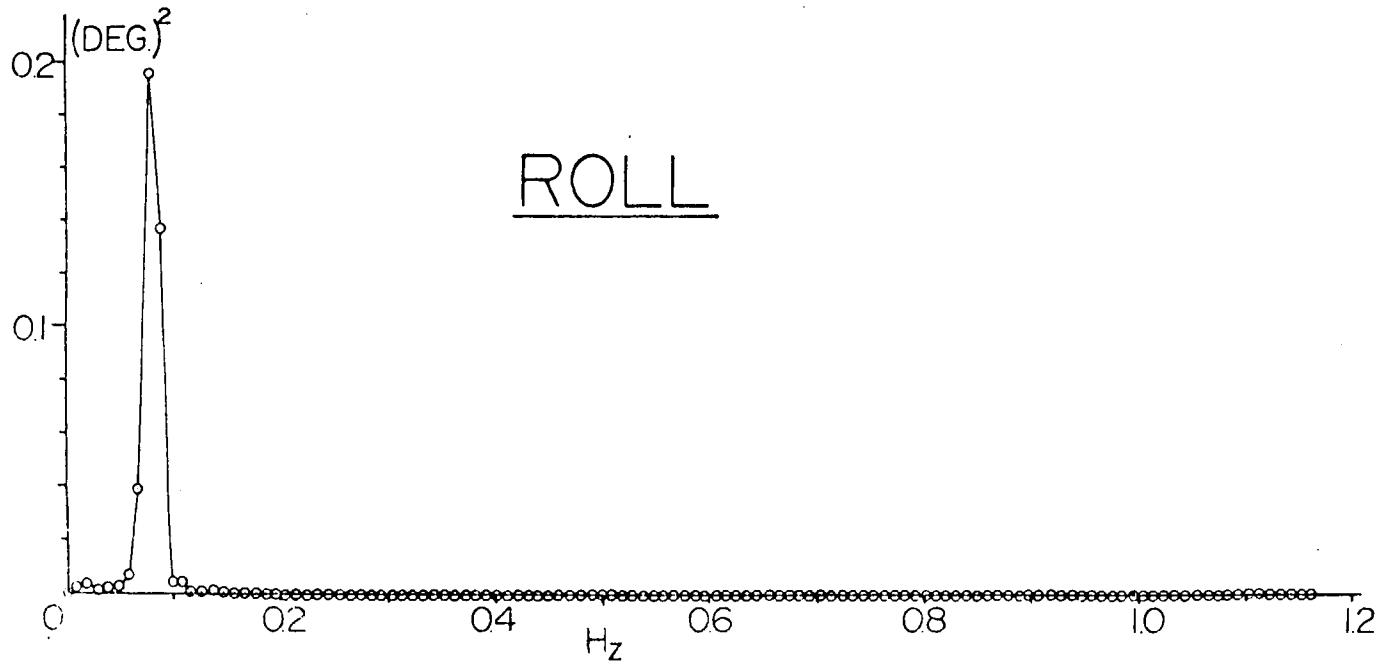


Fig. 3.5.18 Power Spectrum of Roll.

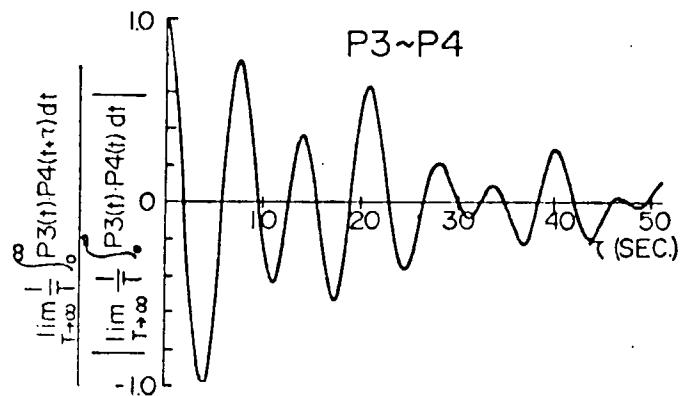


Fig. 3.5.19 Cross Correlation Function of P3-P4.

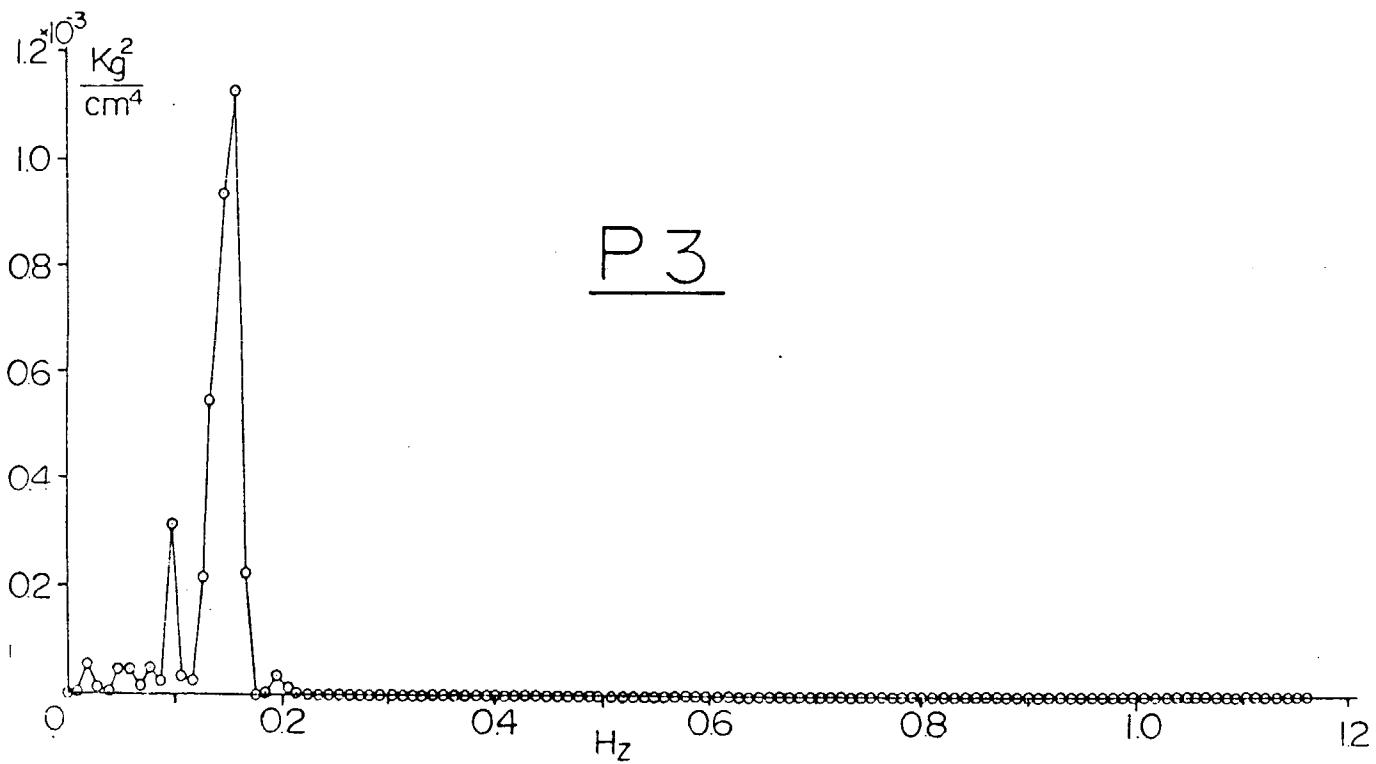


Fig. 3.5.20 Power Spectrum of P3.

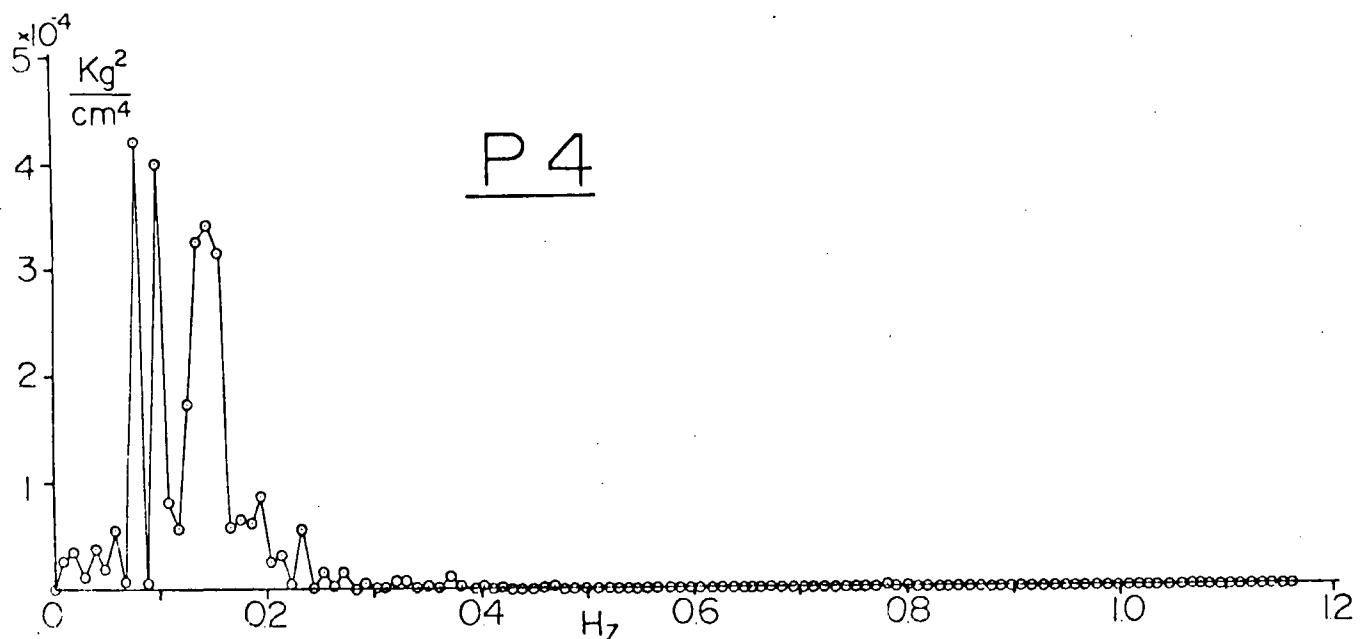


Fig. 3.5.21 Power Spectrum of P4.

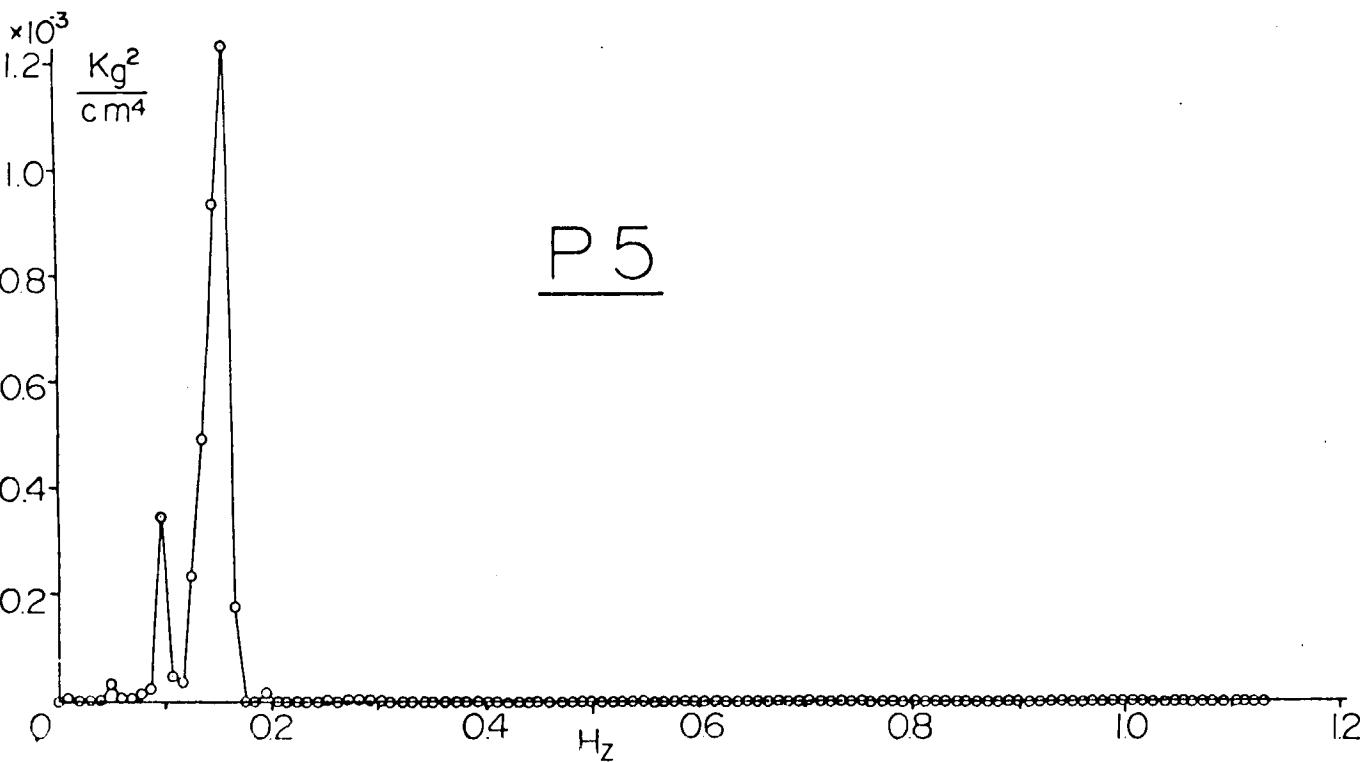


Fig. 3.5.22 Power Spectrum of P5.

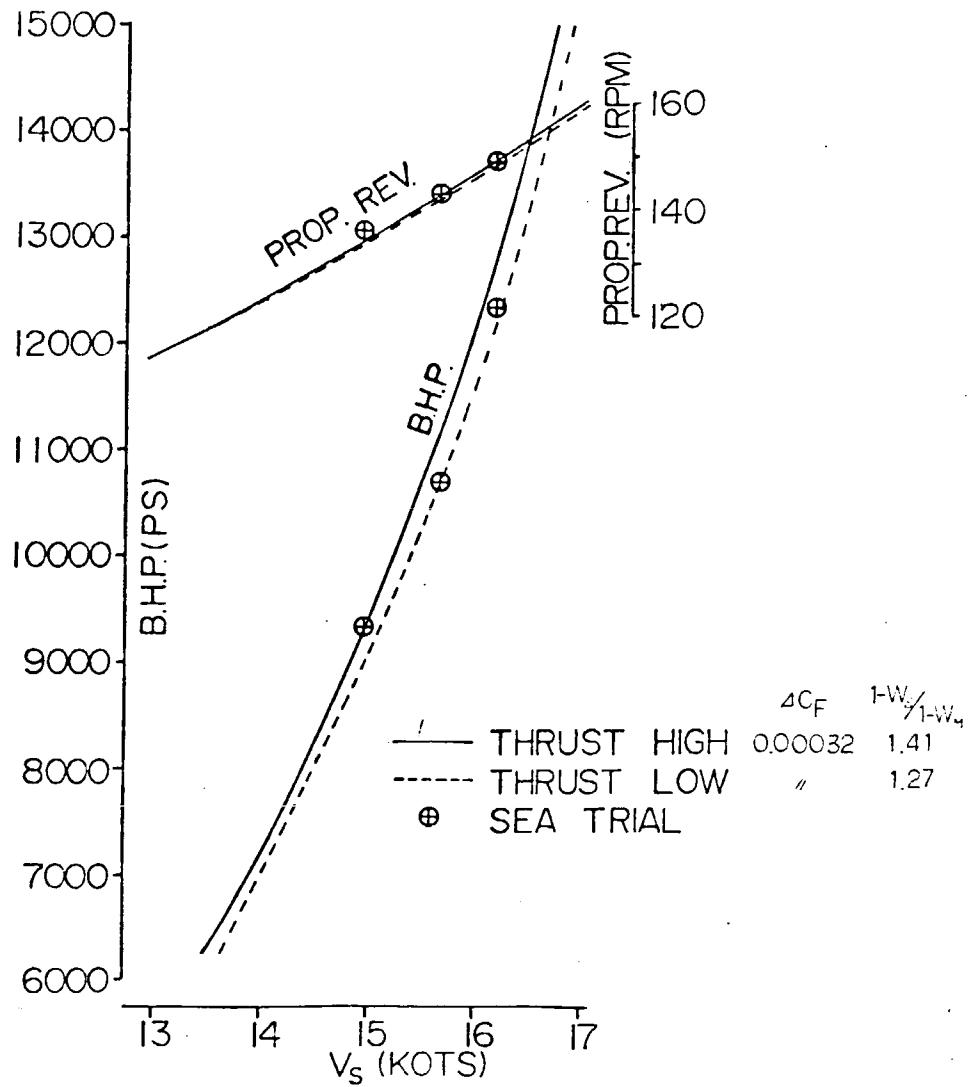


Fig. 3.5.23 Power Estimation Curves and Sea Trial Results.

3.6 模型船・実船の相関々係の統計的調査

3.6.1 本調査の目的

三菱長崎研究所の渡辺（「肥えた模型船に現われる不安定現象」三菱重工技報20号、Vol. 4 NO. 4、1967-7）が自航試験時の不安定現象の問題を発表して以来、個々の研究機関や本部会で、
(イ) 主に力の計測による方法 — 自航試験時のスラスト、トルク、曳引力、サイド・フォースの計測や、水面の目視観測によるもの。（いわゆるマクロ的方法）
(ロ) 主に船尾流場の計測による方法 — 船尾流場の流速、渦度や船体表面圧力の計測、および流れの可視化等によるもの。（いわゆるミクロ的方法）
(ハ) 流れの制御を試みる方法 — 何らかの予測に基づいて船尾流場を制御ないし凍結するもの。計測内容は上記(イ)(ロ)と同様。
(ニ) 理論的方法 — 何らかの流場モデルを仮定し、上記(イ)～(ハ)の計測事実との適合性を検討するもの。等によって、精力的な調査・研究が実施されてきた。自航時の不安定現象は、流れの不安定問題として流体力学一般の問題としても興味を引くが、船舶流体力学としても操縦性における異状現象との関連も考えられ、その解明が強く望まれる。

特に、曳航水槽における静水中の抵抗・推進性能試験によって、実船の静水中の推進性能を推定するという立場からは、以下のことが明らかにされなければならない。

- (イ) 模型試験で不安定現象が起きたとき、たとえば2つの伴流係数 W_T が得られたとき、実船でも同じあるいは類似の現象が起きるのか否か。
- (ロ) もし起るとすればどのような形で起るのか、有害な影響が有るのか無いのか。たとえば、航走中に伴流が変化する、プロペラが息をする、船体振動が大きくなる、異状なて舵、船体表面粗度の増大によって伴流が大きく変化する、等々。
- (ハ) もし起きないとすれば、すなわち実船では伴流は1つしか存在しないとすれば、その模型試験の2つの伴流との関連はどうか。

これらのこととは、不安定現象の本質が徐々に解明されなければ、それに応じておのずと明らかにされてくるものである。しかし、現状ではその解明は仲々困難であり、本部会である程度の解明が得られるとしても、上記問題に確定的な答を得ることは期待できないであろう。

本節の調査は、このような現状においても、過去に蓄積された自航試験と海上速力試運転の結果得られた伴流係数から上記問題に答えられないかを検討したものである。それは、模型試験で不安定現象が起きた船型から実船の推進性能を推定するという差しつけた実際的問題に当面の指針を与えることが主な目的であるが、不安定現象の本質解明の一助にもなるものではないかと思われる。

なお、上記(ロ)の問題については、昨年度造船所の協力を得て本部会の委員2名が海上試運転時に乗船した結果が昨年度の報告書に掲げられている。

そこでの一応の結論は、「模型試験で不安定現象が起きた船型でも実船では異状さは認められない」、ということであった。しかし、これはあくまで一応の結論であり、以下の理由により現在確定的な答を出すのは時期尚早であろう。

- (イ) 「異状さは認められない」ということは、「運航上特に有害な現象は認められない」というニュアンスを多分にもっており、本当に異状さはなかったかは定かでない。
- (ロ) 観測が定性的であり、定量的でない。また、観測者もその積りで数多くの幾種類もの海上試運転を観測していたという訳ではなく、目が充分肥えているとは言い難い。
- (ハ) 昨年度の報告書にもあるように、吃水の若干の差異によってプロペラ後流の趣きが大いに異なっていた。

今後の課題としては、船体運動の影響を除去し、エンジンの動特性を考慮に入れた理論的検討と定量的観測が望まれる。（その意味で前節のデータはきわめて貴重である。）

3.6.2 相関解析

(1) 使用データの概要

本解析で使用したデータ数は、模型船で31隻実船で57隻である。模型試験はすべて（財）日本造船技術センター（以下、造技セ）で実施されたもので、模型試験の時期は過去10年間である。57隻の排水量（海上試運転時）と長さ（L_{pp}）の一覧をFig. 3.6.1に示す。この図によると今回のデータは、排水量や長さはほぼ一様に分布しているが、それと載荷状態（△_T／△_F）との間には偏りがある。

(2) 試運転解析

速力試運転の結果は造技セ既存の計算機プログラムによった。解析法は、JTTTCの標準解析法および谷口・田村の方法の2種によった。設定パラメーター等は、昨年度と同じなので昨年度の報告書を参照されたい。

今回は、解析の結果得られるデータのうち、伴流係数Wのみを使用した。具体的には、

W_M ; 平均的な値（定格出力付近における値）

△W ; バラツキ

である。Fig. 3.6.2 参照

(3) 模型試験結果および実船の推定伴流係数

模型試験結果についても伴流係数（スラスト一致法、W_T）のみを使用した。具体的には、

A, B, C ; 不安定現象の度合

W_{E1}, W_{E2} ; 模型試験で得られたW_Tより造技セ常用のチャート（Fig. 3.6.6）で推定した実船の伴流係数。不安定現象が起りW_Tが2值得られたときは、その各々について機械的に推定した。W_{E1} > W_{E2}

なお、不安定現象の起る形態については、

(イ) 1つの航走中にスラスト等がステップ状ないし正弦波的に変化する。その周期性の有無は問わないが、変化時間のオーダーは数秒ないし数十秒である。

(ロ) 速度やプロペラ回転数が略同一であっても、航走毎にスラスト等に違った値が得られる。等があるが、上記A, B, Cのランク付けは以下の基準によった。

C ; 上記(イ)(ロ)の意味で不安定現象が発生したもので、試験当時から不安定現象が起っていると判定されたもので、かつその度合が大きいもの。

B ; 試験当時は不安定現象と判定されていても、その度合が小さいもの。また、起っていないと判定されていても、W_Tの実験点のバラツキが大きかったり速度によるW_Tの変化の度合が大きく、不安定現象が起っていた可能性のあるもの。

A ; 不安定現象が起っていないもの。

なお、各ランクの隻数は、

	模型船ベース	実船ベース
ランクA	18	30
ランクB	8	10
ランクC	5	17

である。（ランクCのものは、Fig. 3.6.1 でぬりつぶしてある。）

また、上記W_{E1}、W_{E2}の算出に当っては、Bランクのものも少々強引に2つの値を算出した。

(4) 不安定現象の度合と海上速力試運転時の伴流係数のバラツキ

海上速力試運転時に模型試験と同じような現象が発生したと想定したとき、1つの可能性として、各出力毎に得られる伴流係数のバラツキが大きくなるのではないかと考えられる。そこで、前記の $\triangle W$ (Fig. 3.6.2 参照)が、不安定現象のランク A、B、C の間で有意の差として現われるかどうかを調査した。

なお、伴流係数のバラツキ ($\triangle W$ の大小) は不安定現象の有無にかかわらず、海上試運転時の海象、計測法、排水量、試運転解析法に左右されるが、今回は排水量以外は考慮に入れない。

結果を Table 3.6.1 に示す。この表をみると明らかに、「不安定現象の起る船型は、海上速力試運転の結果がばらつく」という仮定は否定される。

(5) 不安定現象の度合と海上速力試運転の再現性

次に、もう1つの可能性として、不安定現象が起る船型の場合、伴流係数に再現性がないのではないかと思われるので、その点について調査してみた。

それは、不安定現象の度合が A と C のもので、同型船の海上試運転結果が3つ以上あるものについて、伴流係数の平均値 W_M (Fig. 3.6.2 参照) のバラツキに差異があるか否かを調べた。

使用したデータを Table 3.6.2 に示す。そして、その表で得られた標準偏差はランク C の場合の方が大きいように見受けられるので分散分析 (F-検定) した結果が Table 3.6.3 である。これを見ると、「不安定現象のランク A と C では、 W_M のバラツキに差はない」という仮説は棄却できない。

(6) 実船伴流係数の推定

以上(4)～(5)で調査したように、不安定現象が起きた船型では、起きない船型に比べて、1つの海上試運転時や同型船の間で伴流係数のバラツキが大きいということは認められない。もちろん、このことは真に差がないことを示すものではなく、たとえ差があるとしても通常のバラツキの方が大きい、ないしは通常のバラツキが大きいので不安定現象の差など解らないということを示すものであろう。

以上の結果から、かなり大膽な結論ではあるが、「不安定現象が起る船型でも、実船では伴流係数は1つしかない」とする。その理由は、種々考え得るとしても、1つはレイノルズ数、もう1つはプロペラ荷重度の違いであろう。たとえば、不安定現象とレイノルズ数の関係が Fig. 3.6.3 に示すような場合が考えられる。また、実船と模型船では伴流が違うためプロペラ荷重度 (たとえば K_T) が異なるか、不安定現象がプロペラ荷重度によって違う場合 (たとえば Fig. 3.6.4) は、上記の結論になる可能性もある。また、プロペラ推力と船の質量の比が小さいことによる応答性の悪さの問題も1つの原因であろう。

伴流係数が模型船では2つ以上、実船では1つのみ存在するとすれば、実船の伴流係数の推定はどうすればよいか。また、不安定現象の発生頻度が関係する場合、つまり、本来ならば模型船で2つ以上の伴流係数が得られるはずなのに、たまたまないしは何らかの理由でどちらか1つの値しか得られなかつた場合、如何にしたらよいか。このような問題については、確定的結論を得るために不安定現象の本質的解明が不可欠である。

今回は、とりあえず、模型試験で2つの伴流係数が得られたとき、従来の model-ship-correlation をそのまま使って実船の伴流係数を推定するとして、どちらの値を採用した方がよいかについて検討した。

使用したデータは、造技セ常用の方法で推定した W_E と海上速力試運転で得られた W_M の差 ($W_E - W_M$) である。それを5つのグループに分けた。

グループ1 ; 模型試験で伴流係数が1つしか得られなかったもの (ランク A のもの)

グループ2 ; 2つ得られたもののうち W の大きい方 (ランク B と C)

グループ3 ; 同上、 W の小さい方

グループ4 ; グループ2のうちランクCのもののみ

グループ5 ; グループ3のうちランクCのもののみ

それぞれのグループについて、($W_E - W_M$)の平均等をTable 3.6.4に示す。この表の平均値を見ると、グループ2、4がグループ3、5よりもグループ1に近い。特にグループ1と4の平均値は一致している。つまり、従来のcorrelationをそのまま使うとするならば、模型試験で伴流係数が2つ得られた場合、Wの大きい方を使う方がよく合う、と言うことができる。

また、上記グループの各平均値の差が有意のものであるか否かF-検定をしてみた。つまり、たとえば、「グループ1とグループ2の違いは有意でない」という仮説が棄却できるかどうかを分散分析により調べてみた。その結果のみをTable 3.6.5に示す。これによると、グループ1とグループ2～5の比較では、いずれも棄却できない、つまり有意の差は認められない。

なお、参考のために、今回使用したデータの、伴流係数の推定値と速力試運転の結果の比較をFig. 3.6.5に示した。

3.6.3 本解析のまとめ

(1) 1つの海上速力試運転時の伴流係数のバラツキには、不安定現象の度合による差違はない。

(2) 海上速力試運転時の伴流係数の平均的な値の同型船間のばらつきは？

不安定現象が起った船型のときの方がばらつきが大きい（ほぼ1.5倍）が、統計的には有意の差はない。

(3) 上記2つの結論から、とりあえず以下のことを仮定できる。

模型試験で2つの伴流係数が得られる船型でも、実船の伴流係数は1つしかない。

(4) 模型試験で2つの伴流係数が得られたとき、従来のmodel-correlationを使うとして、どちらの伴流係数を採用したらよいか。

伴流係数Wの大きい方を使うとよい。

ただし、Wの小さい方を使っても、統計的には有意の差があるとは判定されない。また、Wが大きいものと小さいものとの間には有意の差がある。

(5) 本解析の問題点

本解析の結論として一応以上のことことが得られたが、これはあくまで当面の差しせまつた実用上の目的からなされたものである。

不安定現象が実船でどのような形で現われるか正しく把握するためには、不安定現象の理論的な解明を待たなければならない。また、今回のように、実船と模型船の伴流係数のみから調査するとしても、その精度が問題になる。極論すれば、現状の模型試験、海上速力試運転、同解析法、およびmodel-ship-correlationは、たとえ実船で不安定現象が起ったとしても、それを摘出するだけの精度がない、ということも言い得る。

また、今回使用したデータのうち、模型試験結果はたった1つの水槽（目白水槽）のもの、そして、実船の伴流係数推定方法もその水槽の模型試験結果をもとに得られたものである。各水槽の試験結果に各水槽個別の偏差があるとすれば、他の水槽の結果をもとにした場合ここで得た結論も変ってくる可能性もある。

Table 3.6.1 不安定現象の度合と△W

排水量 千 kT	ランク A	ランク B	ランク C	平均
10 以下	0.030 0.060 48 55 75 29	0.036		0.048
10 ~ 20	0.020 0.027 36 21 08 40 50	0.011		0.027
20 ~ 50	0.016 50 15 8	0.050 53 67	0.040 0.009 40 40 26 45 22 37 15 12 27 23 16	0.031
50 ~ 100				
100 ~ 200	0.093 0.058 24 36 11 43 00	0.016 67 85	0.075	0.046
200 ~	0.025 0.021 53 15 35 75	0.013 15	0.022 19 43	0.031
i)	データ数 平均 標準偏差	17 0.034 0.024	8 0.046 0.026	17 0.030 0.016
ii)	データ数 平均 標準偏差	24 0.033 0.022	9 0.042 0.027	
iii)	データ数 平均 標準偏差	30 0.036 0.022	10 0.041 0.026	

i) 排水量 2万 kT 以上のデータより計算

ii) " 1 " "

iii) すべてのデータより計算

Table 3.6.2 不安定現象の度合と W_M のバラツキ

L_{pp} [m]	不安定現象の度合	同型船の数	W_M	標準偏差
298	A	3	0.326 0.389 0.335	0.028
252	A	5	0.426 0.413 0.419 0.430 0.459	0.016
162	A	3	0.339 0.345 0.401	0.028
310	C	3	0.458 0.388 0.367	0.044
215	C	7	0.452 0.460 0.460 0.556 0.408 0.417 0.474	0.045
185	C	5	0.481 0.493 0.487 0.469 0.437	0.020

Table 3.6.3 分散分析表

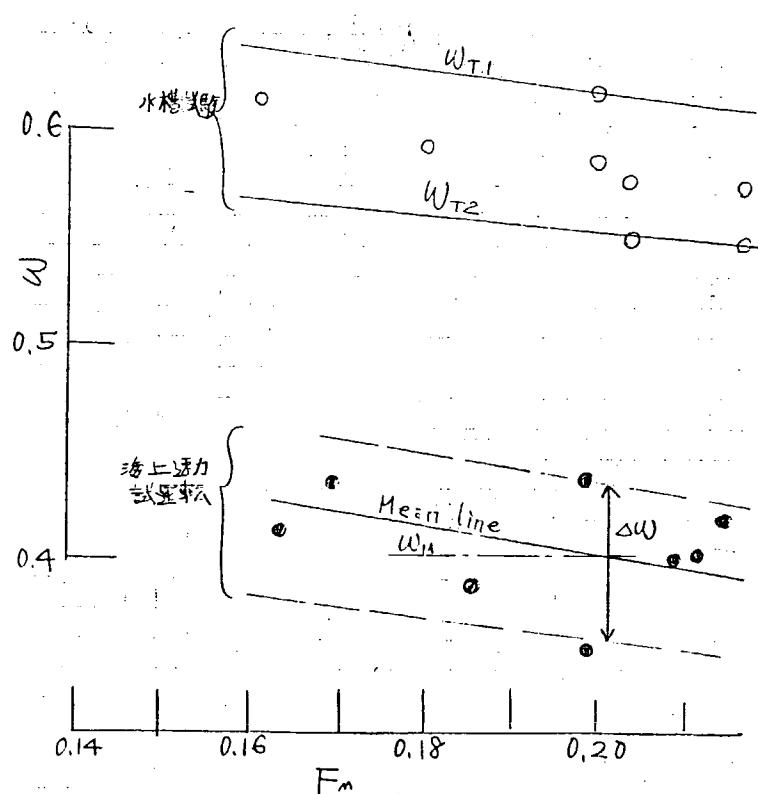
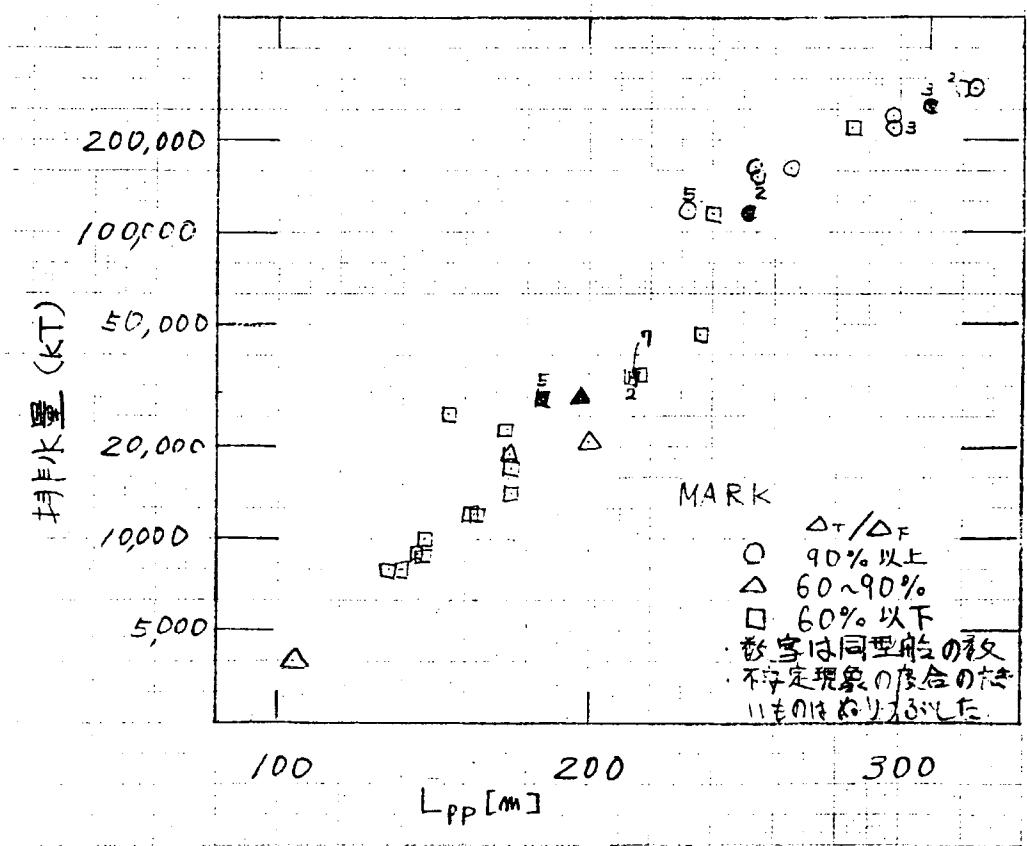
要因	平方和 S	自由度 f	S/f	F
級間	0.000228	1	0.000228	$1.8 < F(1, 4, 0.55) = 7.7$
級内	0.000497	4	0.000124	
	0.000725	5		

Table 3.6.4 ($W_E - W_M$) の平均等

グループ名	1	2	3	4	5
データ数	30	27	27	17	17
平均値	-0.021	-0.010	-0.042	-0.021	-0.050
標準偏差	0.058	0.047	0.042	0.046	0.041

Table 3.6.5 分散分析の結果

比較したもの	F 値	判定
1 - 2	0.4	< $F(1, 55, 0.05) = 4.0$
1 - 3	2.2	
1 - 4	0	< $F(1, 40, 0.05) = 4.1$
1 - 5	3.0	
2 - 3	6.6	> $F(1, 52, 0.05) = 4.0$
4 - 5	3.5	< $F(1, 22, 0.05) = 4.3$



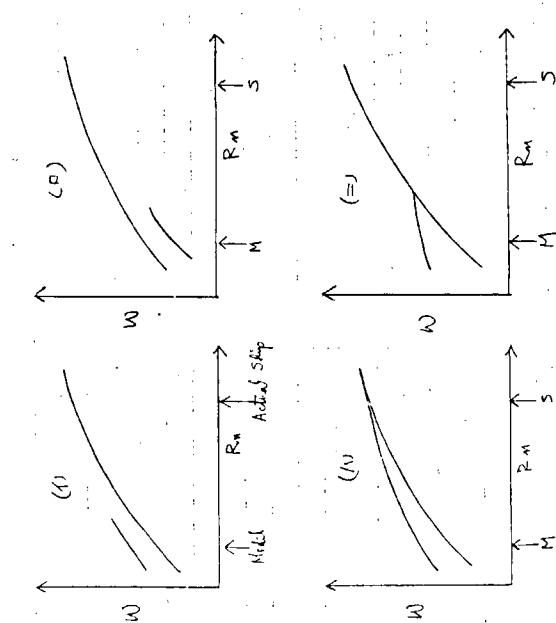


Fig. 3.6.3 レイノルズ数と不安定現象

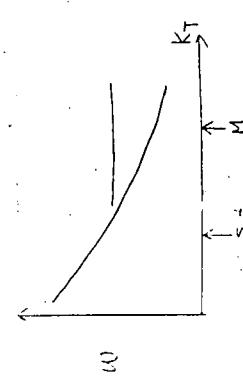


Fig. 3.6.4 プロペラ荷重と不安定現象

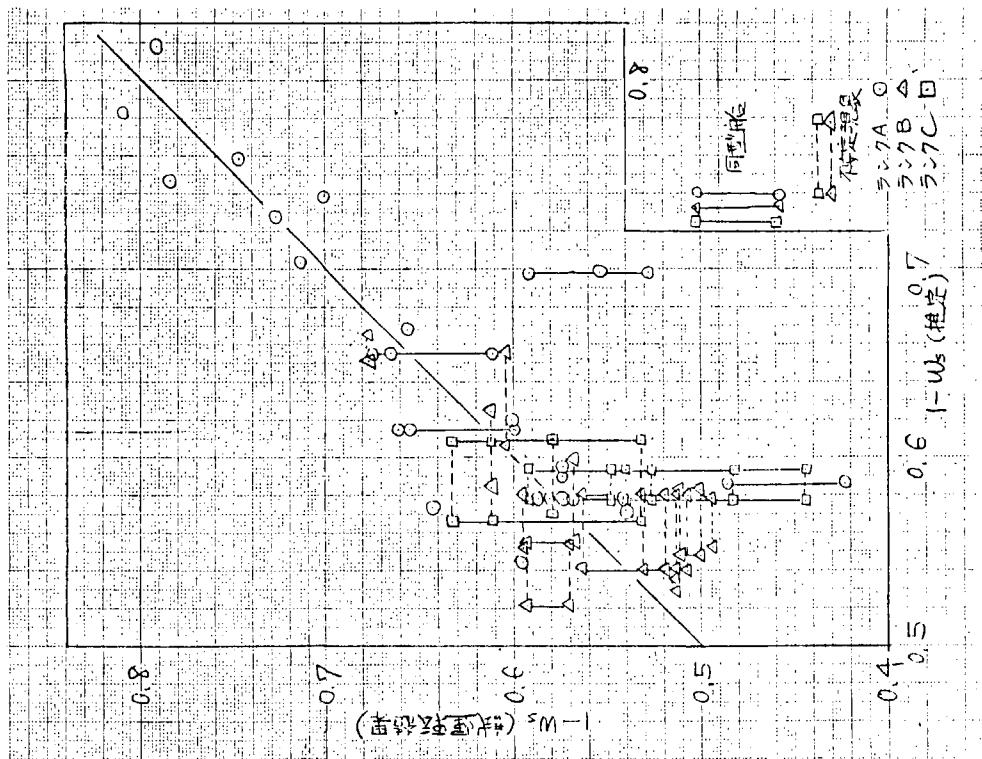


Fig. 3.6.5 伴流係数、推定と速力試運転結果の比較

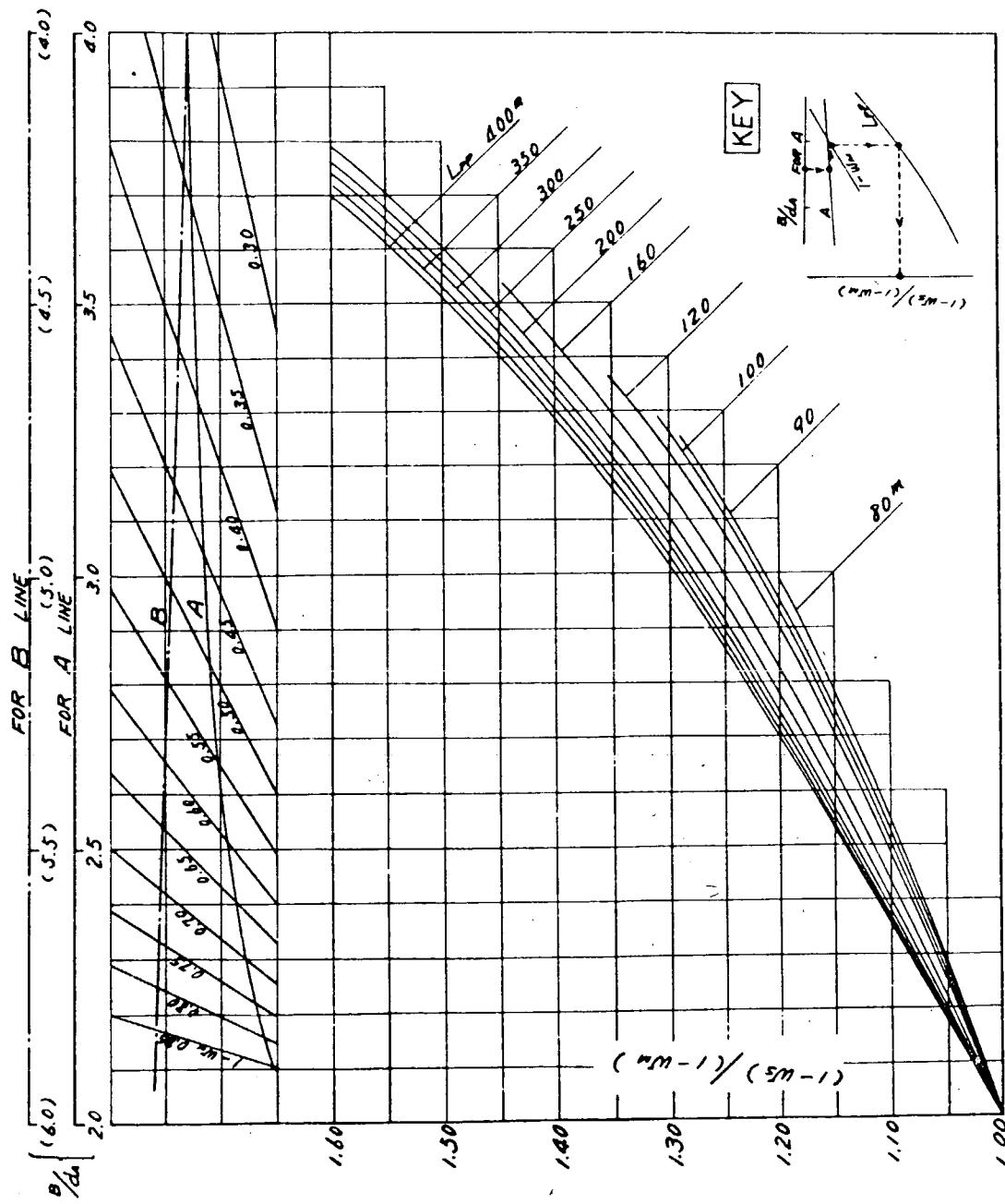


Fig. 3.6.6 本調査で使用した実船流係数推定チャート 矢崎, A Diagram
to estimate the Wake Fraction for a Actual Ship
from a Model Tank Test, 12th ITTC, Performance(ommittee, 1969)

3.7 不安定現象が発生する模型船の自航試験法についての考察

4年間にわたるこれまでの研究の結果から、確実と考えられる事項に立脚し、実用上の見地から、不安定現象が発生する模型船の自航試験をどのように行なえばよいか、またその模型船－実船の相関をどのように取扱えばよいかについて考察する。

この問題に関する研究成果を要約すると次の通りである。

- 1) 1軸肥大船模型の船尾においては、自航時にプロペラの作用によって左右舷が非対称な流場を生ずることがあり、特に軽荷状態において発生し易い。我々が問題にしてきた不安定現象は、この非対称流場が或る頻度で左右入れ変わる場合を指していたものである。
- 2) 非対称流場は次の2隻に分類される。

種類	プロペラ回転方向	推力およびトルク	Wake	船尾横力の作用方向	潮目の流出方向
A	右	大	大	右	左
B	右	小	小	左	右

ただし、方向はいずれも船の進行方向を基準に示す。プロペラの回転方向が左の場合は、上表において船尾横力および潮目の方向が左右反対となる。

Bの流れは必ずしも船体中心面に対してAと対称になるわけではなく、比較的左右対称の流れに近くなって、船尾横力も小さくなる場合も見られる。このような肥大船船尾においては常にA、B2種の非対称流れしか存在しないのか、あるいはこのほかに対称流れなども存在し得るのかは明確でない。

- 3) 船尾に生ずる横力は、主として船尾船体表面に生ずる、非対称流れに基づく、左右舷の圧力によるものであるが、圧力差が生ずる範囲は、一般にS.S.1より後方に限定されている。そして左右舷の同じ位置における圧力は逆相関の変化を示す。
- 4) このような船尾非対称流場の発生は、船尾の肥大度が増大するのに伴って、その程度が強くなる。そして船尾肥大度が小さい中はA、B流れが交互に発生するが、今回の研究の供試船型の範囲では肥大度が増すと遂にはA流れのみが安定して現われるようになる。

また同じ船尾肥大度においても、船尾 frame line の形状によって流場は大幅に変化し、船尾 frame line の下部を削り込んだV型の度を強めた船型においては、船尾の流場は船尾肥大度が相対的に減少したと同じような変化を示す。

模型船寸法(あるいはReynolds数)が大きくなると、船尾流場は概して船尾肥大度が相対的に減少した同じような変化を示すように思われる。

- 5) 非対称流場は船尾喫水が浅い(プロペラが水面に近い)状態で発生し易いが、船尾肥大度が相当に大きい場合、船尾肥大度がある程度大きくかつ B/d が大きい場合などは満載状態においても発生する傾向が見られる。
- 6) 今回調査した範囲の実船においては、船が直進している限り、一般に模型船の自航状態で現われるような不安定現象は発生せず、また実船のWakeがこの種類に存在すると考えられるような根拠は得られなかった。しかし実船の船尾の流れが対称流になっているかどうかについては、まだ断定するに足る資料が得られていない。逆に、実船での船体表面圧力計測結果では、相当に強い非対称流の存在を示すような結果が得られている。

- 7) 模型試験結果より実船 wake を推定する場合、少くとも日本造船技術センター常用のチャートを使用する限り、大きい方の wake(即ち推力の大きいA型の流れで得られるwake)を使用する方が、より妥

当な推定値を得ることができる。ただし実船試運転成績の計測および解析精度が不足しているため、統計的に A、B いずれの流れに対応する wake を用いるのがよいかを検証することは困難である。

以上の要約から明らかなことは、肥大船、特にその軽荷状態においては、非対称流場は相当に高い頻度で発生していると考えねばならないことである。したがって、肥大船の自航試験を行なうにあたっては、たとえ不安定現象がまったく現われず、安定した結果が得られる場合でも、非対称流場発生の有無およびそれが A、B いずれの流れに対応しているかを、明らかにしておくことが必要である。これさえ確認出来ていれば、実用的に対処することは可能である。

非対称流場発生の有無およびその流れのタイプの識別法は、これまでの研究で明らかにされた通り、

- (a) 自航試験時の船尾横力の計測を行ない、その作用方向を検知する。
- (b) プロペラ荷重度を大幅に変えて、effective wake の変化の様相を調査する。
- (c) wake 計測結果より求めた nominal wake と、自航試験で得られる effective wake との大小関係をチェックする。
- (d) 船尾左右舷の適当な位置で船体表面の圧力を計測し、左右の圧力差および変化の相関を求める。
- (e) 船尾の潮目の流出方向、および船尾波の非対称性の有無を観察する。

等があり、さらに船尾まわりの流場に関する研究結果に留意するならば、

- (f) flow visualization によって、船尾まわりの流場の非対称性、特にプロペラ上方水面付近の剥離渦の発生の有無を調査する。

によって確認することが出来る。

この中大型模型船の自航試験に際して適用出来る方法としては、(a)(b)(e) があるが、事情が許せば(d)による確認が望ましい。

以上に立脚して、自航時に非対称流場を発生する恐れのある模型船に対して望ましい自航試験法を要約すると、

- (i) 模型船を抵抗動力計に接続し、一定速度で曳航して、船体抵抗とプロペラ推力との差を検出する方式で試験を行なう。
- (ii) 推力、トルク、抵抗等はすべてアナログ記録をとって、変動の状態をチェックする。また平均値の算出にあたっては十分アナログ記録を参照し、必要に応じ 2 種以上の平均値を採用して解析を行なう。
- (iii) 船尾ガイドにおいて横力計測を行ない、アナログ記録を行なう。
- (iv) 航走時船尾波紋の観察、記録を行なう。
- (v) 特定の速力において、プロペラ荷重度変更試験を行なう。
- (vi) 可能ならば、プロペラ近くの左右舷船体表面の圧力計測を行なう。

と云うことになる。これらはすでに今回の研究において実施してきたことであって、特に新規なものではない。

本自航試験法を適用する肥大船の範囲は、大体の目安として、 $C_B > 0.75 \sim 0.78$ 、あるいは軽荷状態において $W_m > 0.5$ となる程度の模型船（長さ 6 ~ 7 m 以上）と考えてよいであろう。

このような自航試験において非対称流場を発生する恐れのある模型船の試験結果を用いて、実船の性能推定を行なうための相関係数についても、なお調査研究を要する点が多い。このためには今後さらに実船の試運転成績の解析を通じて資料の蓄積を進めて行く必要があるが、これに対しては造船所関係者の一層の配慮と協力を願いしたい。

3.8 ま と め

以上で4年間にわたって実施してきた「大型模型船による自航試験法の研究」、およびこれに関連して実施した「実船の推進性能の研究」を終了する。この間実施した研究項目は「持ちまわり自航試験」をはじめとして合計14項目に達し、多くの知見が得られた。

しかしながら、不安定現象（非対称流場の発生および転位）は現象自体が複雑、多岐にわたっているため、いまだ解明されていない部分も多く、上記の研究によって得られた各種の知見を矛盾なく説明することも、未だ難しい状態にある。これらの多くの現象を説明しつくすためには、どうしても非対称流場発生のメカニズムを明らかにすることが必要であるが、逆に、これらの現象を最も矛盾なく説明出来る流場モデルが最も実状に近いわけで、その作成が望まれるわけである。この点については5で考察を行なうこととする。

本年度の研究においては、実船を含む尺度影響の調査や、模型船－実船の相関々係の統計的調査など、実船の状況の一端が把握されたことによって、一つの山場を越えることが出来た。しかし一方期待された流場凍結法については、残念ながら明確な結論を得ることが出来なかった。このような肥大船の自航試験法としては、基本的には流場のコントロールないし凍結する技術が是非とも必要と思われる所以、将来の問題として今後に持ち越すことと致したい。

また、プロペラの作用や舵との干渉、水面や船体とプロペラの相互関係など、船尾非対称流場の発生と関連してさらに調査を進める必要がある事項も多く、今後の研究の進展に期待すること切なるものがある。

4. 船尾まわり流場の調査

4.1 まえがき

本年度は4年間の研究予定の最終年度にあたるので、所期の目的が今年度で達成できるよう研究計画を審議した。一方当初予算は諸般の情勢のため一部削減され若干不便が生じたが、その制約の下に種々研究実施計画を検討した結果、次のような考察手順に従い実施することとなった。

- (i) 50年度製作した母船型と、その肋骨線形状を若干V型にした51年度船型の2隻を中心に、過去3年間流場を調査研究した結果、不安定現象の実体の概略はほぼ判明した。
- (ii) また、51年度船型の方がより不安定であることも明らかとなった。
- (iii) そこで今年度は更にV型の度を強めた船型模型を製作し、不安定度が更に増すか、あるいは逆に減ずるかなどを注目しながら実験する。
- (iv) 一方、現在までの実験結果では現象の機構の解明は十分であるとはいえない、更に詳細に調査する必要があるので、不安定現象の強い51年度模型船により実験を続行する。
- (v) これと同時に、2m模型船を用いて回流水槽で実験を行う。この場合船型は更に大幅に変更したものを作成し、また実験は回流水槽の利点を生かし流場の観測調査を主とする。

以上のような考え方の下に研究が進められたが、実験担当その他を表にすると次のようになる。

研究項目	実験による流場調査			不安定現象機構の解明
模型船	4m (今年度 新船型)	4m (51年度)	2m (51年度船型 を含め4種)	
担当	横浜国大 (丸尾)	広大 (波多野)	東大 (田古里)	全委員

4.2 4m模型船による実験と考察

4.2.1 53年度船型による研究

(1) 供試模型及び試験項目

この研究に用いられた模型は昭和51年度模型船を基礎として、横切面積曲線を変えずに船尾形状を満載吃水線附近で肥らせ、下部を削って肋骨線形状をV字形に変化させたものであり、Fig. 3.2.1 (MS0254)に示されている7m模型の相似模型である。試験状態は満載、6.5%及び4.4%載貨状態の3通りである。模型の所要寸法及び各状態の吃水はTable 4.2.1.1に示す通りである。模型推進器も7m模型に用いたものと相似であり、MAU型5翼で主要目はTable 4.2.1.2に示してある。

実施した試験項目は各状態に対する抵抗試験、推進器単独試験、自航試験、船首尾における横力測定、及びSS^{1/2}、6WLの左右舷に設けた圧力測定孔における圧力測定である。なお各状態共、フルード数0.14及び0.18において推進器の荷重変更試験も行った。

(2) 実験結果及び考察

抵抗試験結果よりITTC 1957年曲線を用いて求めた剩余抵抗係数をFig. 4.2.1.1に、また、このときの船首尾吃水変化をFig. 4.2.1.2に示す。抵抗試験結果は極めて安定した記録が得られた。

模型推進器の単独試験結果は Fig. 4.2.1.3 に示してある。実船に対応する摩擦修正を施した自航試験結果は無次元表示により Fig. 4.2.1.4 (a)～(c) に、自航要素の値は船首尾ガイド位置で測定した横力の無次元値と共に Fig. 4.2.1.5 (a)～(c) に示してある。測定点には多少のばらつきが見られるが、これを特定の物理現象と関連づけることは困難であり、計測装置の誤差範囲内の変動と見るのが妥当のように思われる。横力計測結果は有義は値を示さなかった。これは船尾波紋の観察結果からも推察出来、船尾後方の後流渦による水面の非定常的変動は認められるものの、平均的には左右対称な流場が観察され、いわゆる潮目のようなものは認められなかった。荷重度変更試験の結果は自航要素の値及び横力係数の形で Fig. 4.2.1.6 (a)～(f) に示してある。荷重度を高めるに従って、伴流率の値が減少し、推進器の吸い込み作用の増加によって伴流の減少する模様がうかがわれた。推力減少率も伴流率と同様の変化を見せるが、推進器効率比はほとんど影響を受けない。この試験では横力の有限値がある程度計測されたが、計測装置の精度上はっきりした結論を得るまでには至らなかった。SS^{1/2}・6 WL の位置で測定された模型船表面圧力の係数は、Fig. 4.2.1.7 (a)(b) に示すが、44% 載荷状態では圧力孔が水面上に露出するため計測値が得られなかった。左右舷の圧力差は極く僅かであり、また同図に示す横力の同時測定結果からもわかるように、流れは左右ほとんど対称であると判断される。自航試験及び横力計測の生の記録例が Fig. 4.2.1.8 (a)～(c) に示されているが、試験装置系の固有周期に合わせた変動が認められるのみで、不安定現象のような特別な物理現象は一切認められなかった。

以上の結果より、今回試験した 53 年度船型は、少なくとも試験を実施した範囲においては極めて安定した結果を与え、模型船まわりの流場に関して不安定現象等の特異な現象は全く現われなかった。

Table 4.2.1.1 Principal Particulars of Model Ship

PRINCIPAL PARTICULARS OF MODEL SHIP

L _{PP}	4.0000 (M)
L _{DWL}	4.1000 (M)
B	0.6667 (M)
D	0.3467 (M)
d (DESIGN)	0.2415 (M)
RISE OF FLOOR	0.000 (M)
STARTING POINT OF RISE OF FLOOR	0.000 (M)
RADIUS OF BILGE CIRCLE	0.0600 (M)
MEAN THICKNESS OF SHELL PLATE	0. (M)
WATER LINE APART	0.0267 (M)
SQUARE STATION APART	0.4000 (M)
C _b	0.8000
L/B	6.0000
B/d	2.7607

TEST CONDITION

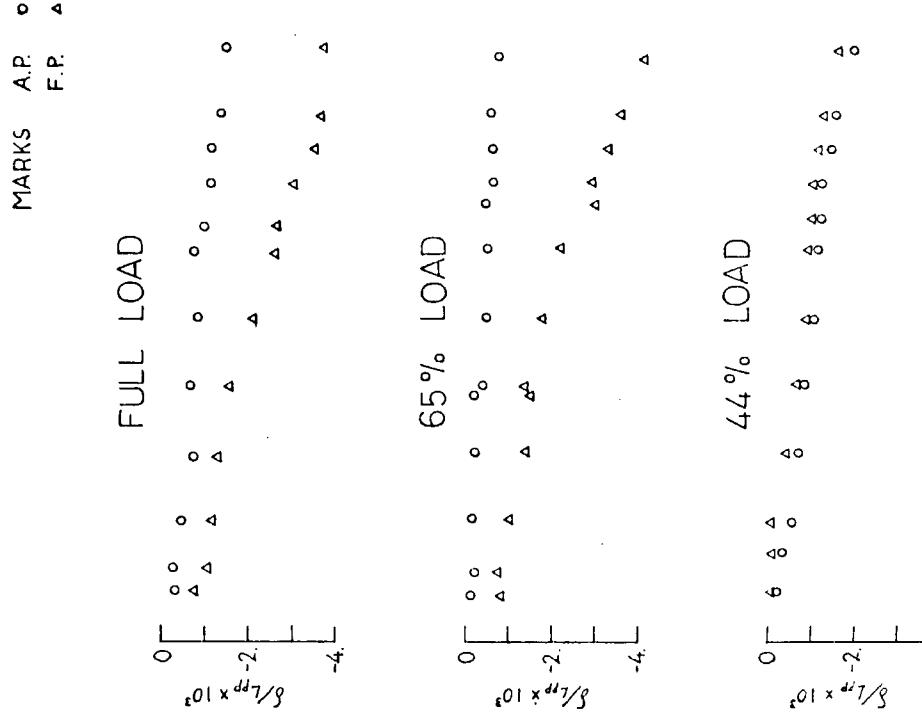
FULL LOAD (EVEN KEEL)	DISPLACEMENT	0.5166 (M)
	F	0.2415 (M)
	M	0.2415 (M)
	A	0.2415 (M)
65 % LOAD (1% TRIM BY STERN)	DISPLACEMENT	0.3358 (M)
	F	0.1437 (M)
	M	0.1637 (M)
	A	0.1837 (M)
44 % LOAD (2% TRIM BY STERN)	DISPLACEMENT	0.2273 (M)
	F	0.0752 (M)
	M	0.1152 (M)
	A	0.1552 (M)

Table 4.2.1.2 Principal Particulars of Model Propeller

PRINCIPAL PARTICULARS OF MODEL PROPELLER

DIAMETER	0.1167 (M)
PITCH RATIO (CONST.)	0.7143
BOSS RATIO	0.1800
EXPANDED AREA RATIO	0.6649
MAX. BLADE WIDTH RATIO	0.3008
BLADE THICKNESS RATIO	0.0500
ANGLE OF RAKE	10.00 (DEG.)
NUMBER OF BLADES	5
BLADE SECTION	MAU - TYPE
DIRECTION OF TURNING	RIGHT HANDED

DIPPING AT RESISTANCE TEST



RESULT OF RESISTANCE TEST

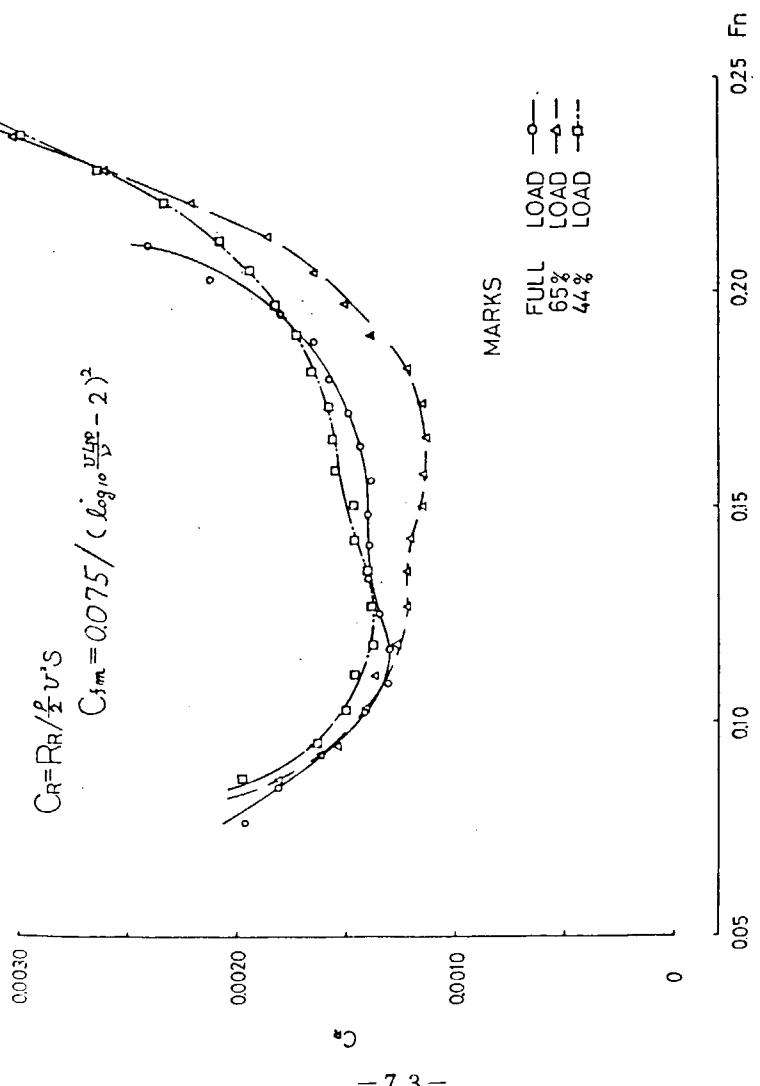


Fig. 4.2.1.1

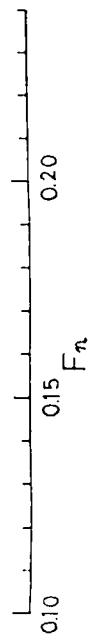


Fig. 4.2.1.2

RESULT OF PROPELLER OPEN TEST

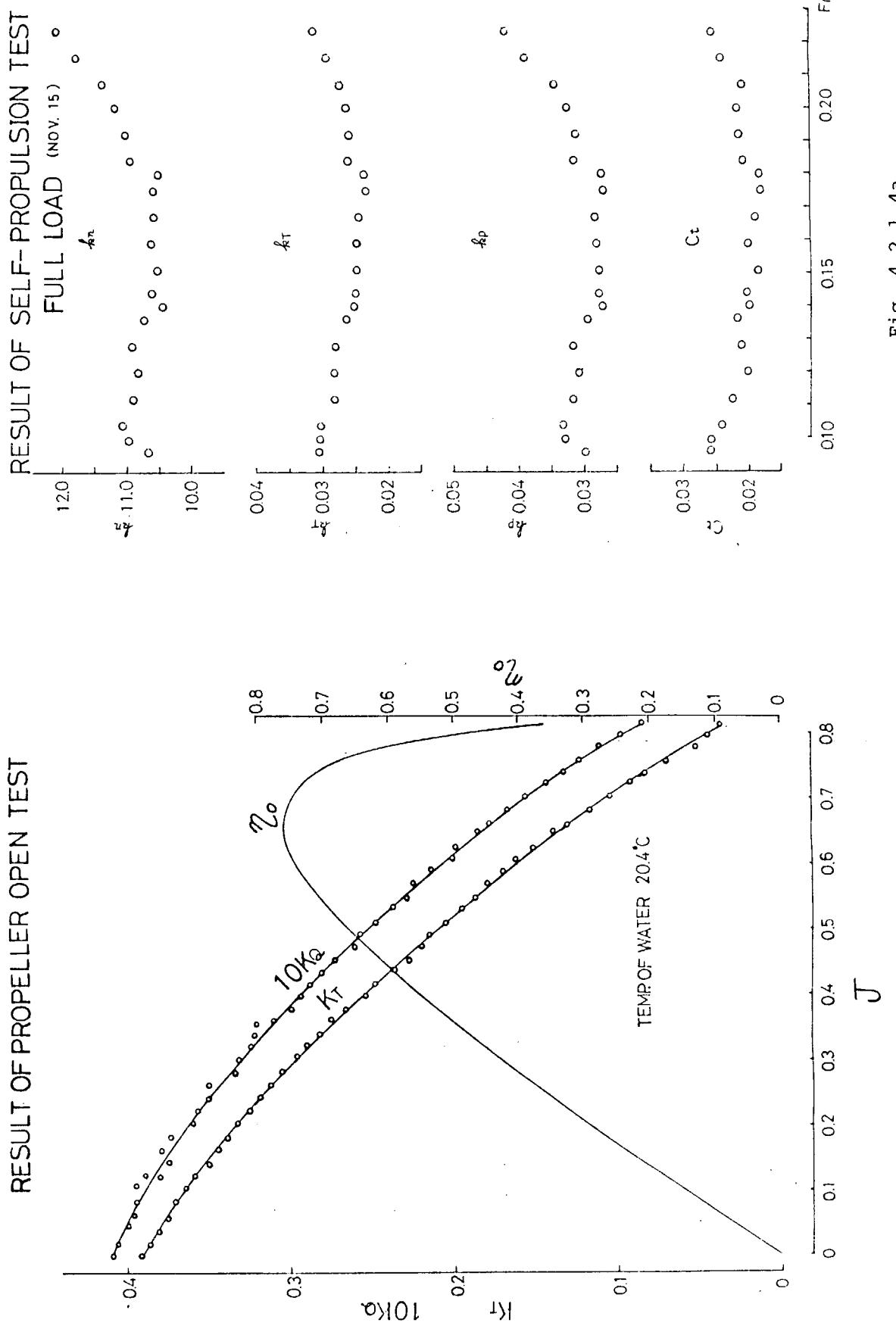


Fig. 4.2.1.3

Fig. 4.2.1.4a

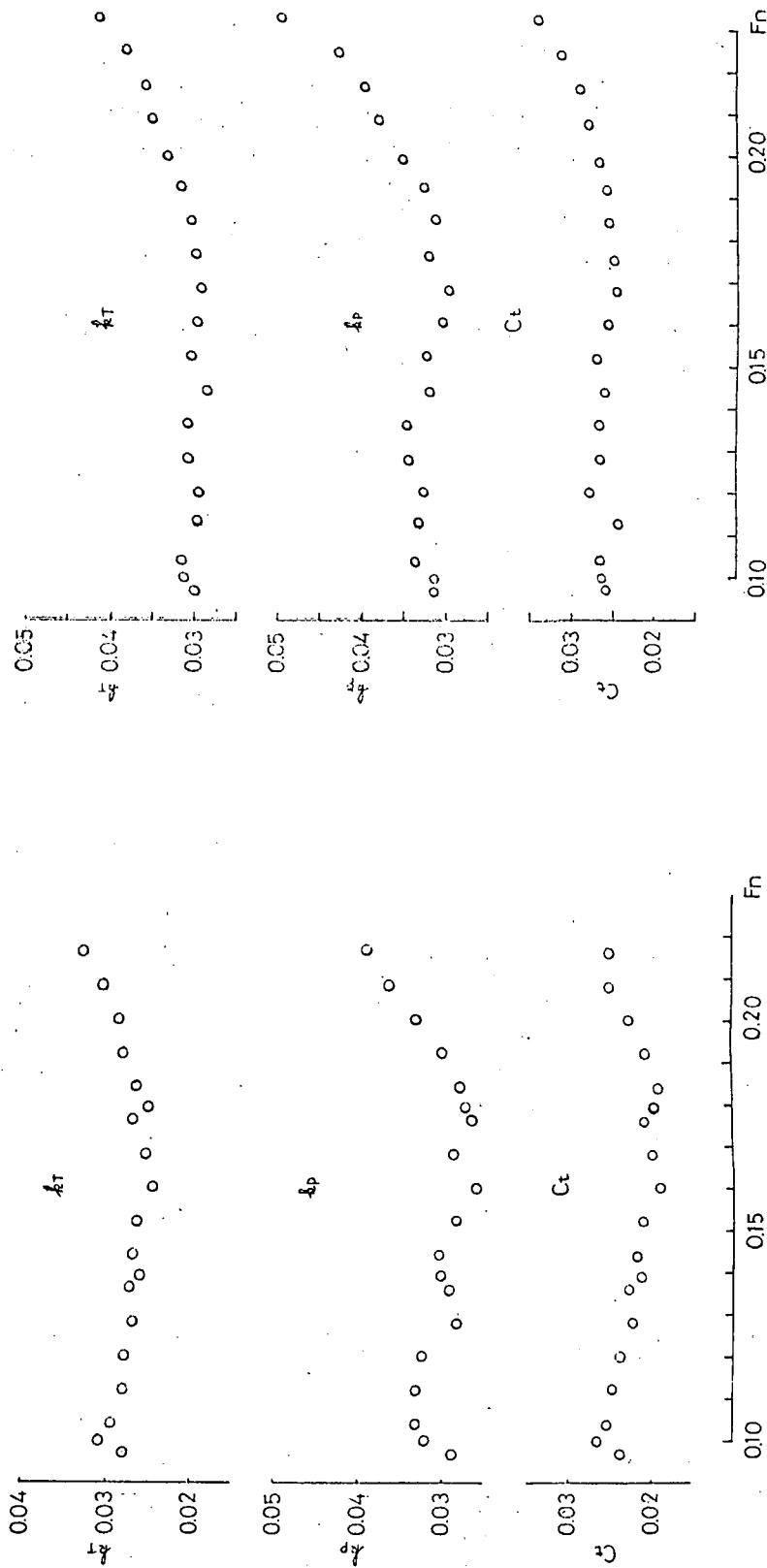
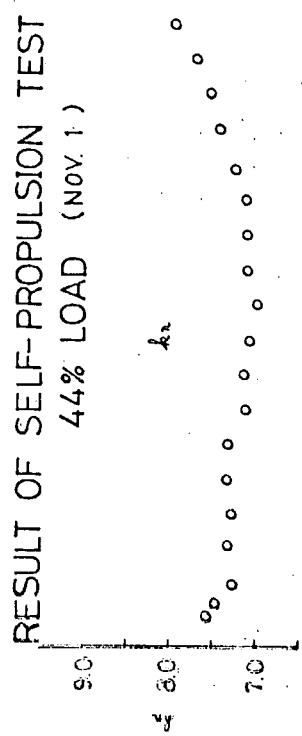
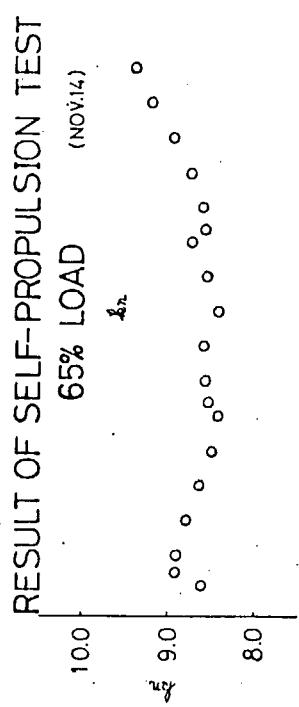


Fig. 4.2.1.4b

Fig. 4.2.1.4c

RESULT OF SELF-PROPELLSION TEST
FULL LOAD (NOV.15)

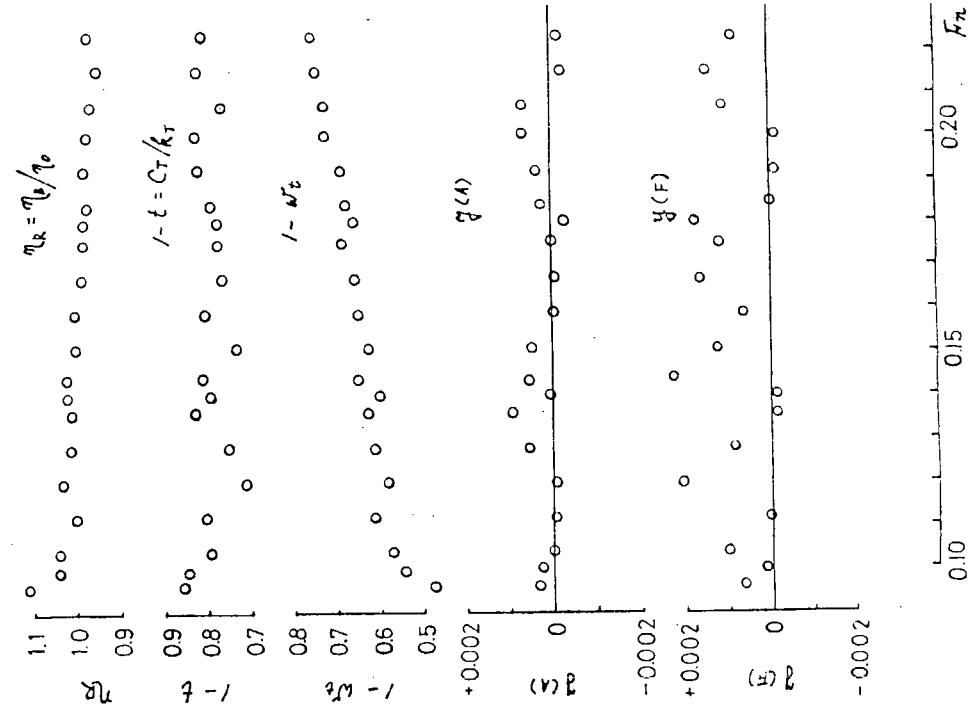


Fig. 4.2.1.5a

RESULT OF SELF-PROPELLSION TEST
65% LOAD (NOV.14)

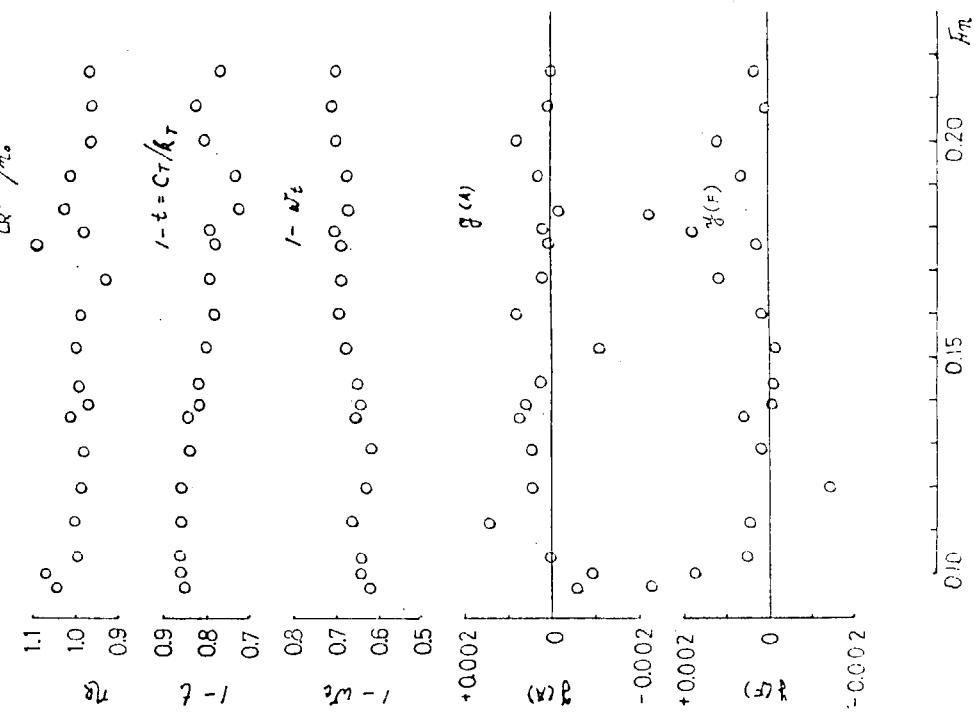
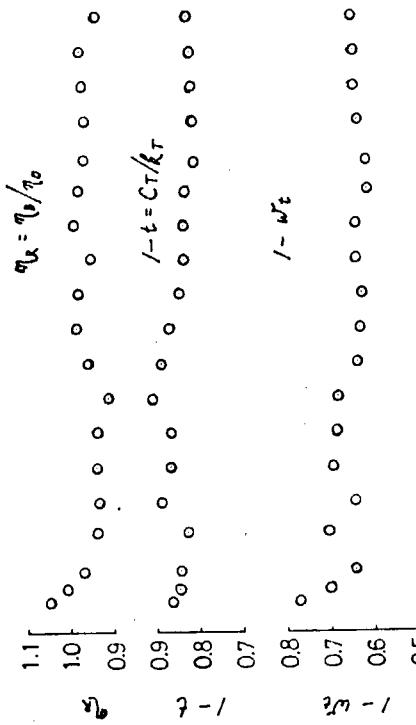


Fig. 4.2.1.5b

RESULT OF SELF-PROPELLION TEST
44% LOAD (NOV.1)



RESULT OF PROPELLER LOAD TEST
FULL LOAD $F_r=0.14$ (NOV.10)

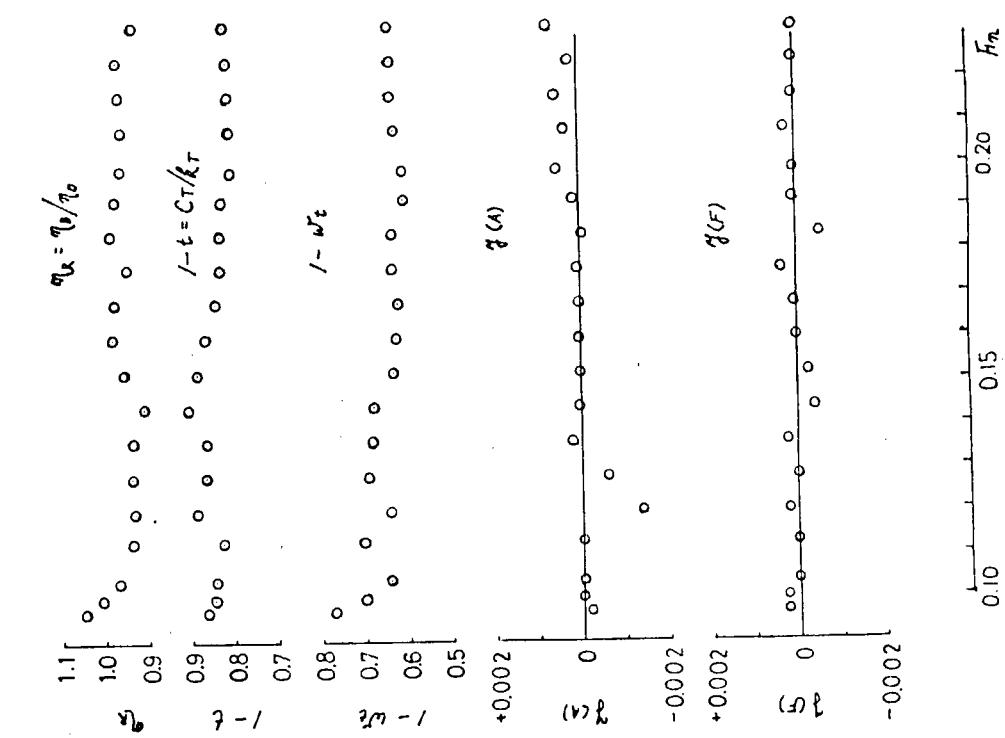
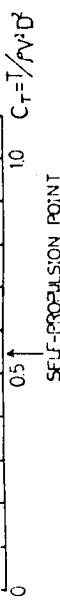


Fig. 4.2.1.5c

Fig. 4.2.1.6a



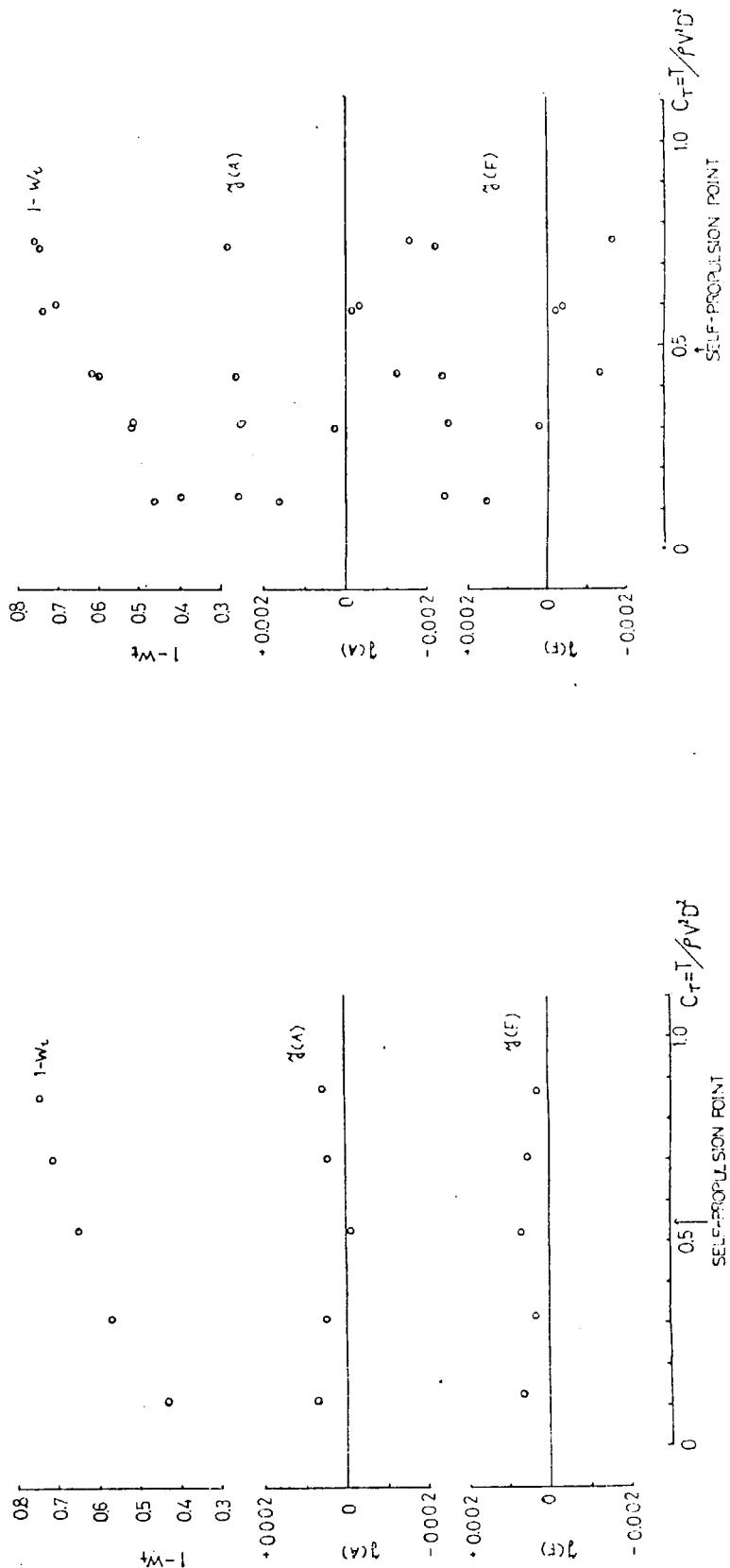
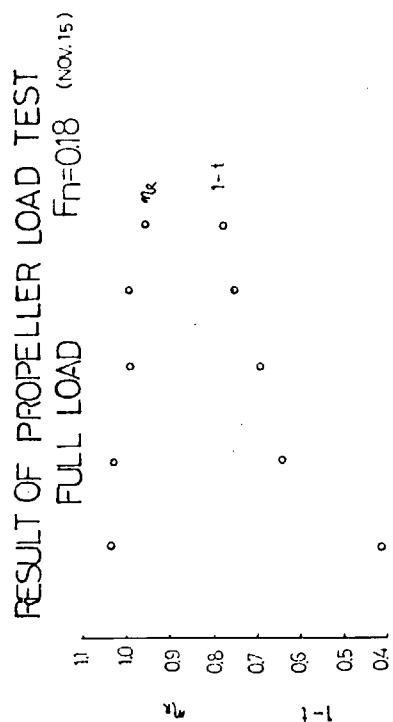


Fig. 4.2.1.6b

Fig. 4.2.1.6c

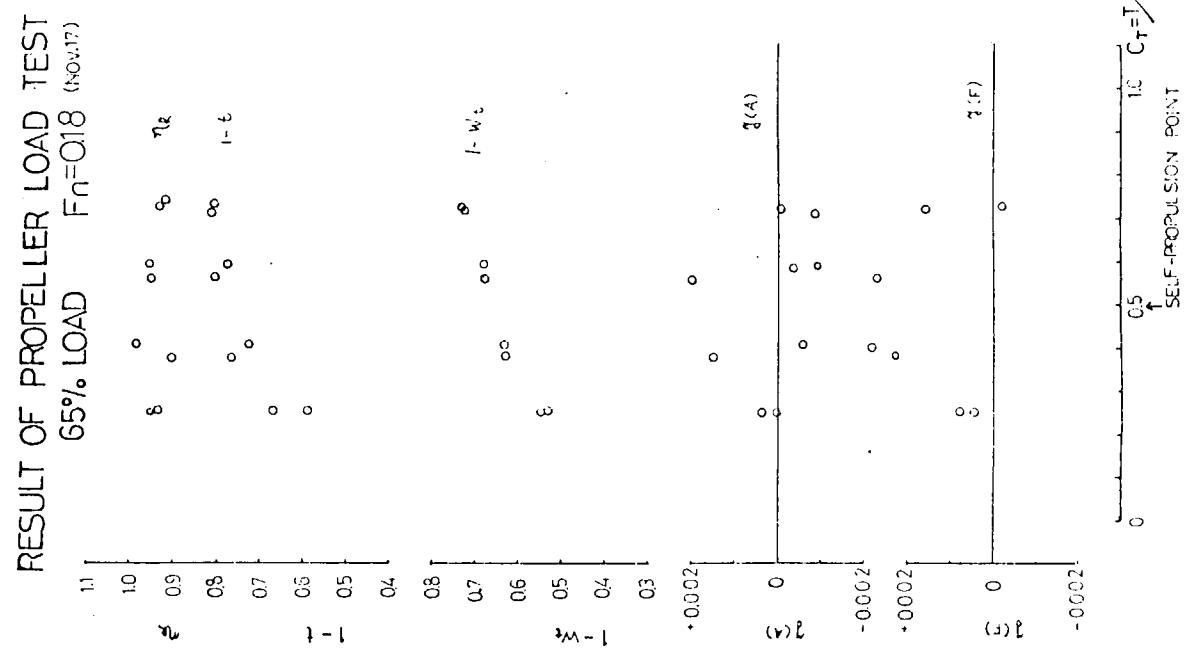


Fig. 4.2.1.6d



SELF-PROPELLATION POINT



SELF-PROPELLATION POINT

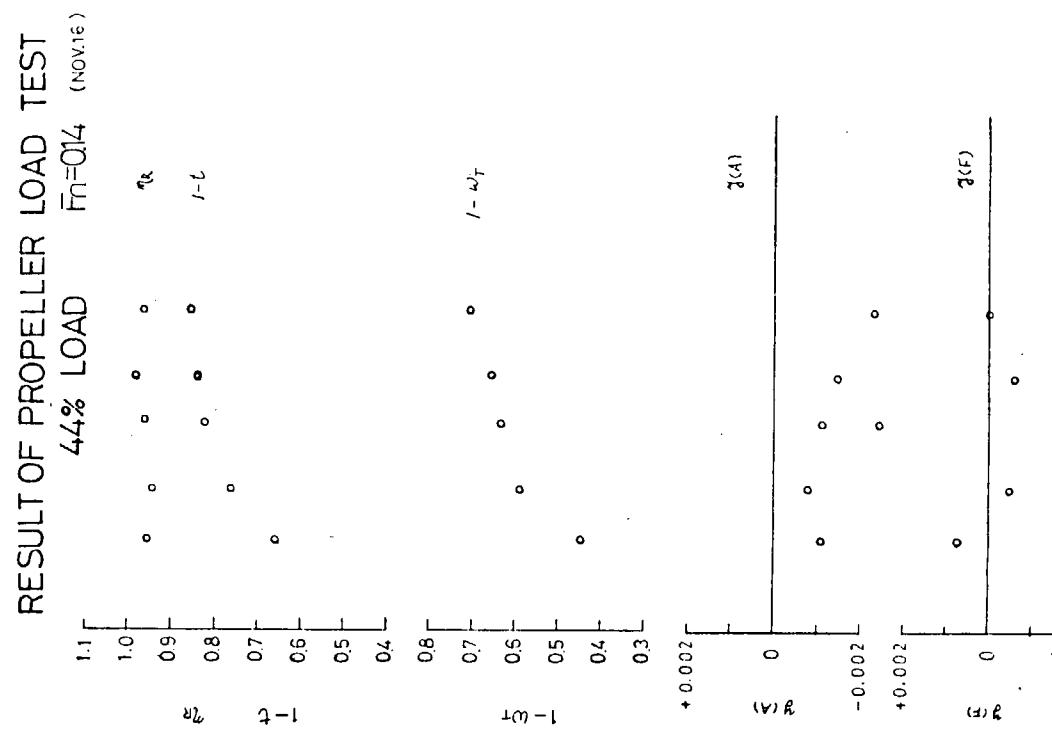
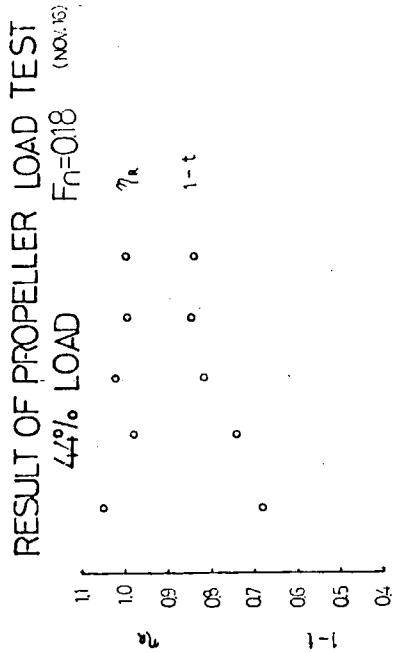


Fig. 4.2.1.6e



PRESSURE AND SIDE FORCE
FULL LOAD (DEC.1)

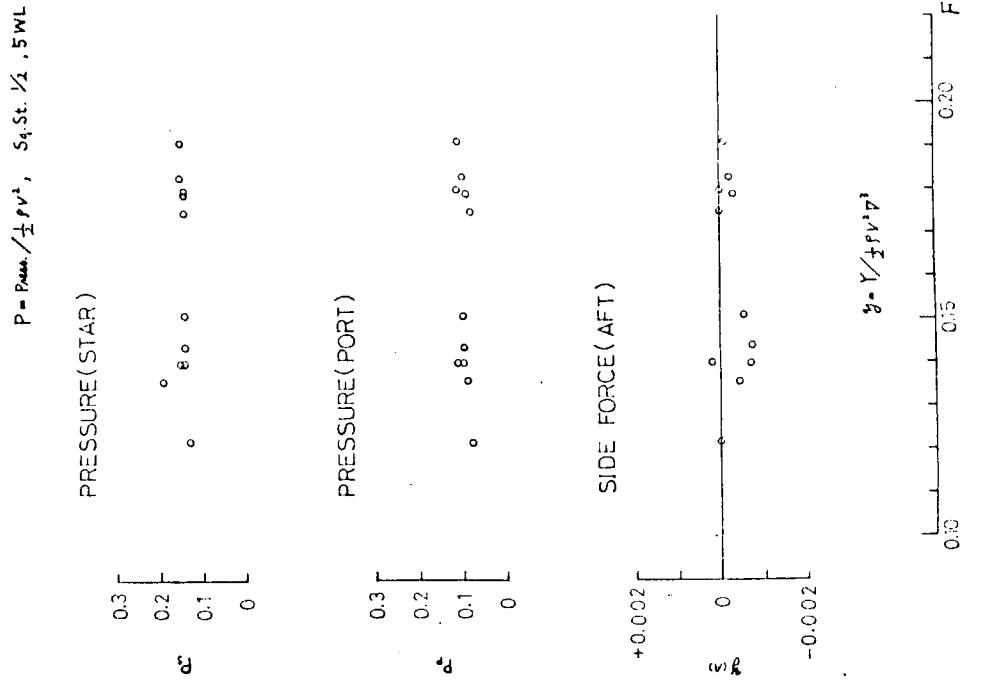
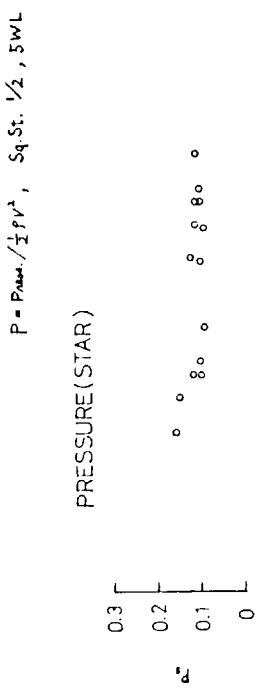


Fig. 4.2.1.6f

Fig. 4.2.1.7a

PRESSURE AND SIDE FORCE

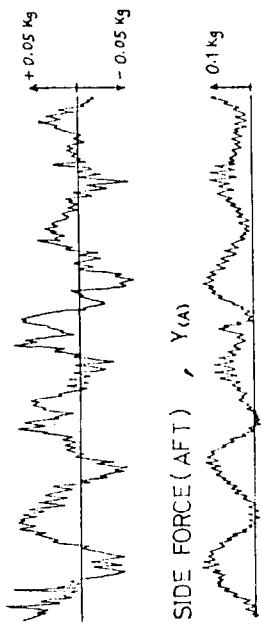
65% LOAD (NOV. 30)



EXAMPLE OF RECORDS

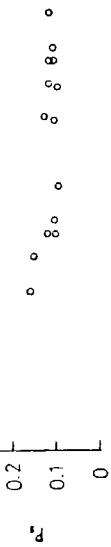
FULL LOAD $C_T = 0.36$

(NOV. 15)

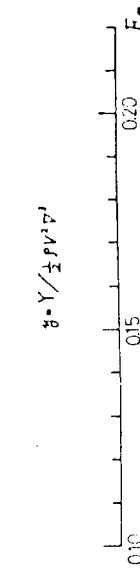
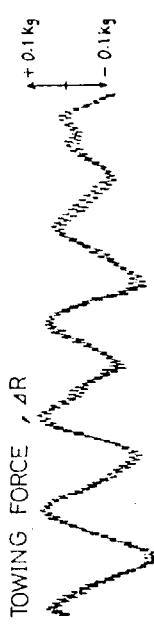


$P = P_{atm.}/\frac{1}{2} \rho v^2, \quad S_{q.Sr.} \frac{1}{2}, \quad 5WL$

PRESSURE (STAR)



PRESSURE (PORT)



10 sec.

Fig. 4.2.1.7b

Fig. 4.2.1.8.a

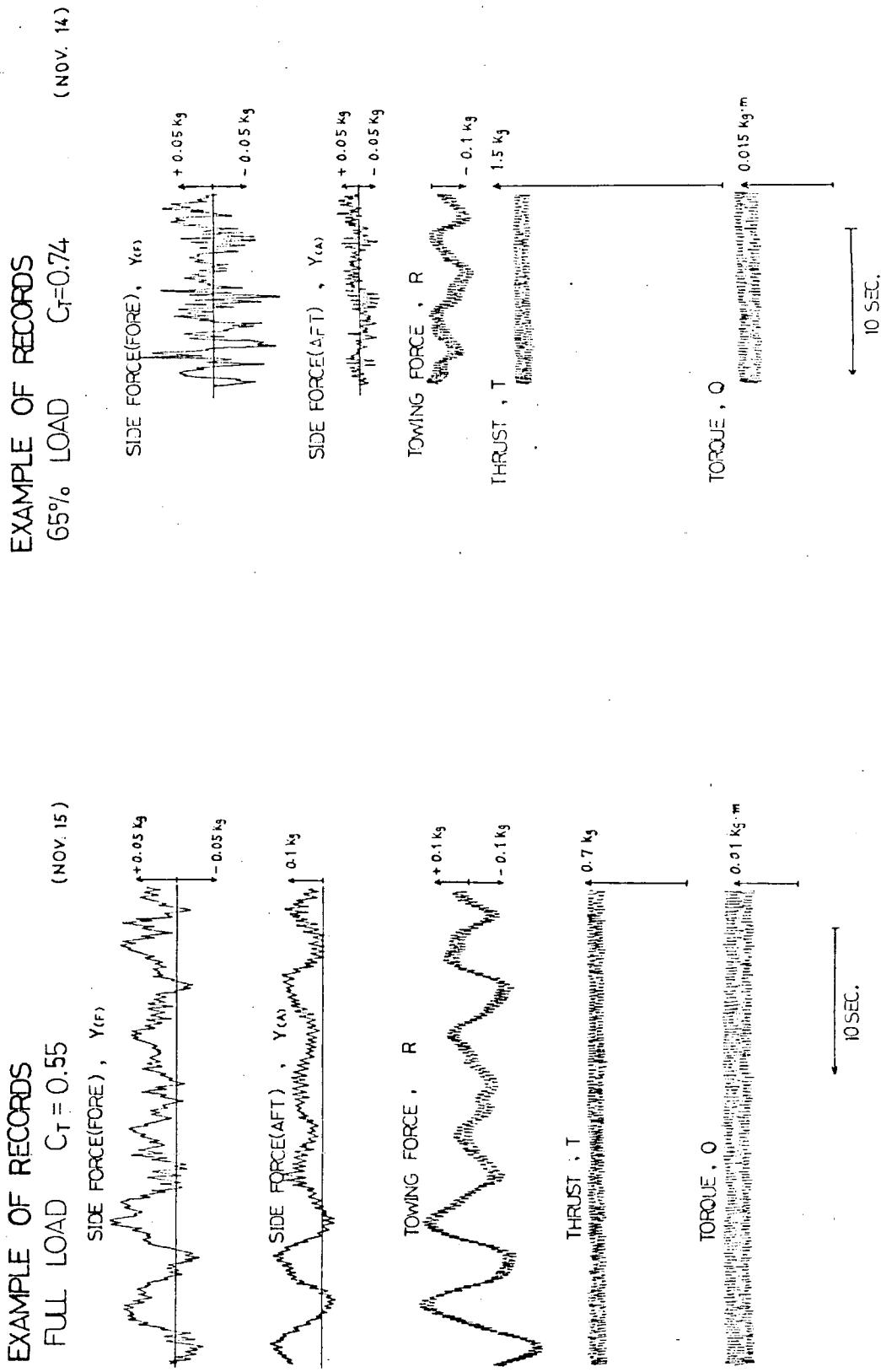


Fig. 4.2.1.8b

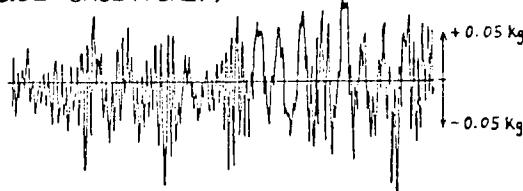
Fig. 4.2.1.8c

EXAMPLE OF RECORDS

44 % LOAD $C_T = 0.22$

(NOV. 16)

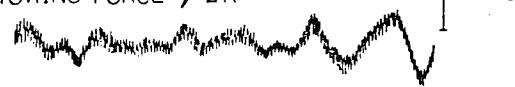
SIDE FORCE (FORE), Y_F



SIDE FORCE (AFT), Y_A



TOWING FORCE, ΔR



THRUST, T



TORQUE, Q



← 10 sec. →

Fig. 4.2.1.8d

4.2.2 51年度船型による追加研究

51年度船型 4m模型船を用いて昨年度に引き続き、65% full load の状態で次の様な実験を行なった。

- (1) 5孔管によるプロペラ面内の伴流の計測
- (2) 5孔管によるプロペラ前方の流場の計測
- (3) プロペラ荷重度変更試験
- (4) 船尾流場の観測

これらの実験結果の概要を考察と共に次に示す。

- (1) 5孔管によるプロペラ面内の伴流の計測

計測は舵なしの状態で $V/\sqrt{Lg} = 0.18$ において行なった。Fig. 4.2.2.1 にプロペラ面内の速度成分をベクトルの形で示している。流れは完全に安定したものではなく、速度ベクトルは時間と共に変動しており、図はその平均値を示すといえる。図によると左右両舷の流れは対称ではなく、若干右舷から左舷への流れが見られるが、この傾向も時間と共に多少変化する。また、プロペラ軸の側方にビルジ渦の存在が見られる。Fig. 4.2.2.2 には軸方向の流速成分を伴流分布の形で示している。これを50年度船型（昭和51年3月報告書）と比較すると伴流分布の形状は似ているが、 W_x の値は51年度船型の方が上方で大きく、側方で小さくなっている。この事は51年度船型の方が50年度船型より上方で肥え下方で瘦せていることに対応している。Fig. 4.2.2.3 には流速分布をもとに求めたプロペラ面内の渦度分布を示している。右舷側には左廻り、左舷側には右廻りの渦が存在し、プロペラ軸の側方とその少し下方に渦度の強い所が存在する。このことも50年度船型と同様であるが、渦度の強さは50年度船型より小さいようである。しかし50年度船型の実験は舵付きであるのに対し、51年度船型の実験は舵なしであるので両者全く同じ条件ではないことを考慮する必要がある。

- (2) 5孔管によるプロペラ前方の流場の計測

プロペラ前方の流場に及ぼすプロペラの影響を知るために、曳航時および実船対応の状態での自航時において S.S. $1/2$ 付近の流場の観測を5孔ピトー管を用いて行なった。Fig. 4.2.2.4 には進行方向に直角な面内の流速成分をベクトルにより示している。外方ポテンシャル流れにおいては水面近くを除いて上方内向きであるが、船体近傍の流れは上方では下方向となっている。自航状態では Fig. 4.2.2.5 に示すように、プロペラの吸込み作用により内向きの流れを生じ、左右両舷の流れに差が見られ、非対称となっている。進行方向の成分を伴流分布の形で示した Fig. 4.2.2.6 によると、自航時の流速は曳航時に比べ加速されており、左右両舷の流れにはかなりの差が見られる。図は左舷側が右舷側よりも流速が小さく、左舷側の圧力が右舷側より大きくスラスト大の状態に対応している。スラスト小の状態では逆に右舷側の流速が左舷側より小さくなるが左右両舷の差はスラスト大の時より小さい。Fig. 4.2.2.7 には過度分布に対するプロペラの影響を示しているが、流速分布と同様プロペラの作動時には渦度分布にも非対称性が表われている。

- (3) プロペラ荷重度変更試験

プロペラ荷重度が自航性能および流場に如何なる影響を与えるかを調べるため、65% full load $V/\sqrt{Lg} = 0.18$ において荷重度変更試験を行なった。荷重度変更に使用した曳航力 F の大きさは 500 g から -500 g までである。 $F = 400 g$ が実船に対応している。実験の範囲内では荷重度に関係なく、同一プロペラ回転数において 2 つの安定したスラストが得られた。Fig. 4.2.2.8 には荷重度による伴流係数の変化をしているが、 $1 - W$ の値はスラスト大のグループとスラスト小のグループで 2 本の平均線が画かれる。各プロペラ荷重度においてスラスト大の状態とスラスト小の状態の現われる割合を見ると、Fig. 4.2.2.9 a に示す様に荷重度が小さい時はスラスト大のしめる割合がスラスト小の状態のしめる割合より多いが、荷重度が増加するにつれてスラスト大の状態のしめる割合が減少している。

このことは後述する渦と潮目の観測の結果と一致している。潮目の発生とスラスト変動との関係についてはスラスト変動が記録紙上に現われはじめてしまらしくして潮目の変化が現われており、スラストの変動が潮目の変化、船尾流場の変化よりも先行している様に見られた。

(4) 船尾流場の観測

荷重度が船尾流場に与える影響、スラストの大の時と小の時とで船尾流場に如何なる差があるのか、その原因は何かを調べるために、タフト・グリッドや船体表面タフトを用いて船尾縦渦や船体表面の粘性流れの変動を観測した。

(4-A) タフト・グリッドによる観測

A. P. 後方 10 cm のタフト・グリッドによる流場観測例を Fig. 4.2.2.10 に示している。左潮目の時は左舷水面下に右潮目の時は右舷水面下にそれぞれ外廻りの渦が存在する。左舷側の左廻りの渦の方が右舷側の右廻りの渦より強く左舷側の渦の外端の水面は凹みを生じておらず、この部分から気泡がプロペラ面に吸込まれる場合も見受けられる。右舷側の渦は左舷側の渦に比べると弱く潮目も左舷側ほど明確ではない。荷重度と潮目および渦の左右舷出現の割合を Fig. 4.2.2.9 b, Fig. 4.2.2.9 c に示しているが、荷重度が大きくなるにつれて右舷側に渦を生ずる割合が高くなっている。このことは ship point で自航試験を行なう場合、模型寸法が大きい程渦が右舷側に出現する割合が高くなる可能性があることを暗示している。

(4-B) 表面タフトによる船体表面粘性流れの観測

full load の状態では Fig. 4.2.2.11 に示す様に S.S. $\frac{3}{8}$ 付近から後方の水面近くの流れは剥離しており、プロペラ直上部ではプロペラの吸込み作用により逆流も見られる。後方よりの観測によると水表面の近くに弱い外廻りの渦が両舷に存在しているが 6.5% full load に比較するとその強さは非常に弱い。Fig. 4.2.2.11 にも見られる様に左右両舷の流れはほぼ対称である。

6.5% full load 、プロペラなしの時は、Fig. 4.2.2.12 に見られる様に S.S. $\frac{1}{2}$ より後方プロペラ・シャフト下方に 3 次元剥離が見られ、プロペラ・シャフト上方船体後端部には 2 次元的な剥離が見られ、この部分およびオーバーハング部の流れは弱く逆流も見られるが、流れは比較的安定しており、左右両舷の流れはほぼ対称である。

Fig. 4.2.2.13 a, 13 b には実船自航点および模型自航点における流れの様子を示している。図は左潮目の時と右潮目の時の左右両舷の粘性流れを示している。流場変化の頻度は荷重度によって異なるが、流場そのものには大差がない。左舷に潮目が生じている場合は左舷の S.S. $\frac{3}{8}$ より後方では流れは逆流ないしは下方に向っている。右舷にはそのような流れは全くなく、プロペラの上方にプロペラの吸引によるとみられる逆流がわずかに見られる程度である。他方、右舷に潮目が生じている場合は左舷潮目の場合と全く逆の流れになっている。逆流ないし下向流れの領域が左舷潮目の場合に比べて若干狭い。後方よりの観測によると昨年度の報告書にも示した様に、オーバーハング部下端のプロペラとのクリアランスを通って左潮目（スラスト大）のときは右舷から左舷へ、右潮目（スラスト小）のときは左舷から右舷への流れが見られる。この様な流れは左右舷の非対称性を増す方向であり、左右舷の流れは斜航時の流れと似ている。

左右舷の流れの非対称性を増すこの横流れを防ぐために此の部分に仕切板を入れると Fig. 4.2.2.14 に示す様に左右舷の非対称性はほとんど無くなり、対称を安定した流れとなる。このことはクリアランスを横切る流れが、流れの非対称、スラストの双安定に対する一つの原因となっていると考えられるが、その様な流れが何故生ずるかについて明らかにするまでは到らなかった。しかし、この付近の船型のわずかな修正でスラストの双安定の様な複雑な現象はさけられそうに思われる。

以上の様な流場観測の結果から以下に示すことがいえよう。

(1) 潮目の水面近くに縦渦が存在し、スラストが大の時は左舷側に、スラストが小の時は右舷側に潮

目と縦渦が存在する。

- (2) プロペラ荷重度が増すと右舷側に潮目を生ずる割合が増す。逆にプロペラの荷重が軽くなると左舷潮目が出現しやすくなる。プロペラ荷重度が大きい場合には船尾付近の流れがプロペラによって強く加速され、境界層厚さも小さくなり流れが安定する方向にあると考えられる。この際、右舷に潮目が生ずるのはプロペラ（右廻り）により水面下の流れが右上方に向き主流と右舷側でぶつかり合うためではないかと思われる。
- (3) 模型船の自航試験では SFC を与えることによりプロペラ荷重を実船に対応させることができる。
しかし流れは必ずしも実船に対応しておらず境界層も厚い。そのため流れが不安定または双安定となる可能性があるが、実船の境界層の厚さは薄い。そのため流場としては右潮目の方が実船の流場に近いのではないかと思われる。
- (4) 潮目は (4-B) で示した粘性流れの逆流域の前縁と水面の交点より少し後方から生じている。
潮目は剥離領域発生による一つの結果としての現象であると思われる。
- (5) プロペラ上方オーバーハング部の鉛直面内の流れを考えるとプロペラの不均一な吸込み作用によって不安定な流れを生じ、左から右へ、右から左への流れの発生が予想される。この横流れは左右両舷の流れの非対称性を増す作用をする。この流れを防ぐためオーバーハング部下方のクリアランスに仕切り板を入れると流れは左右舷対称に近づき安定化する。

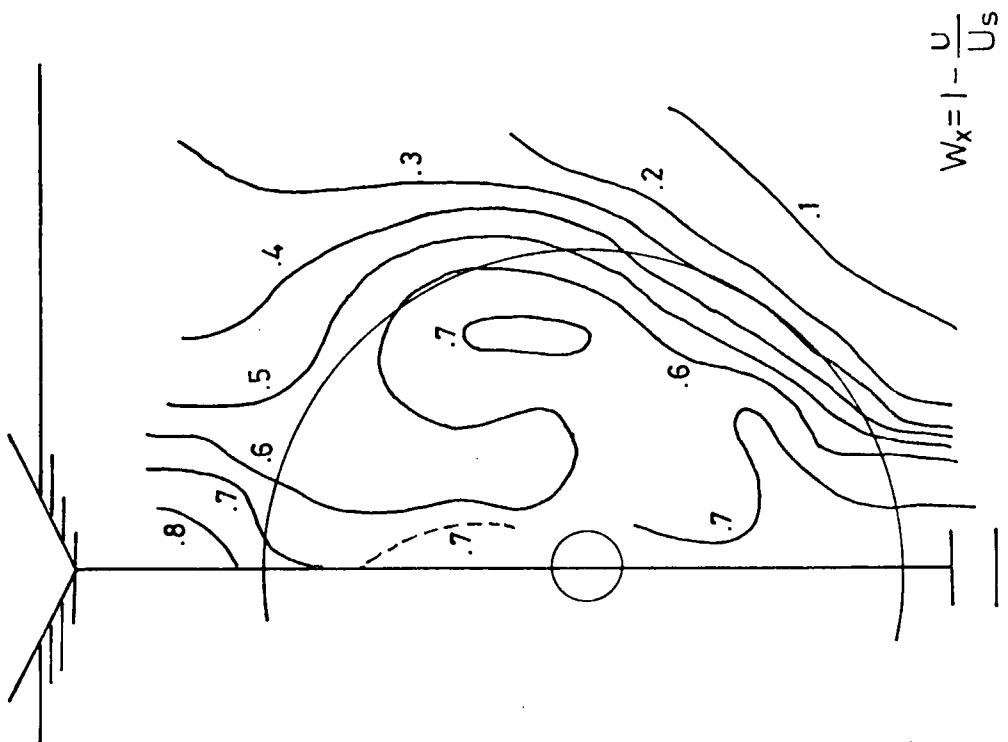


Fig. 4.2.2.2 Wake Distribution

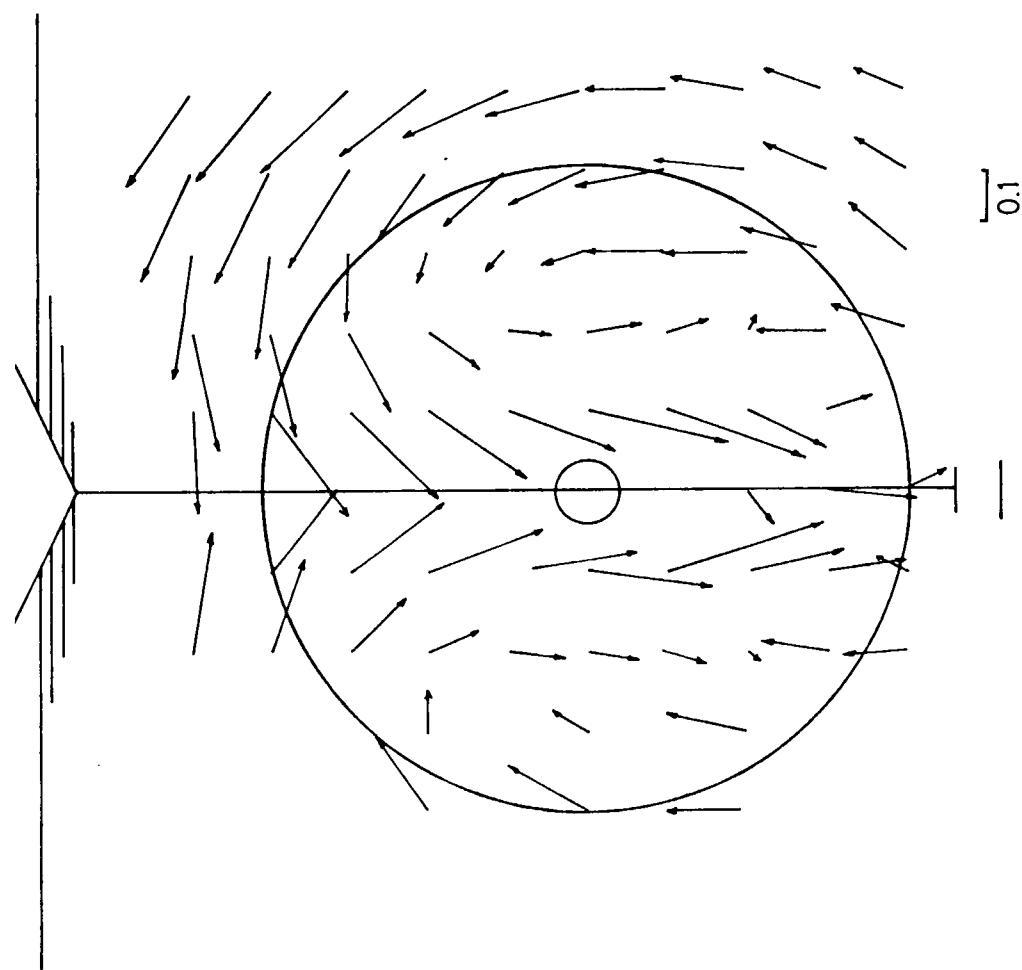


Fig. 4.2.2.1 Flow Pattern

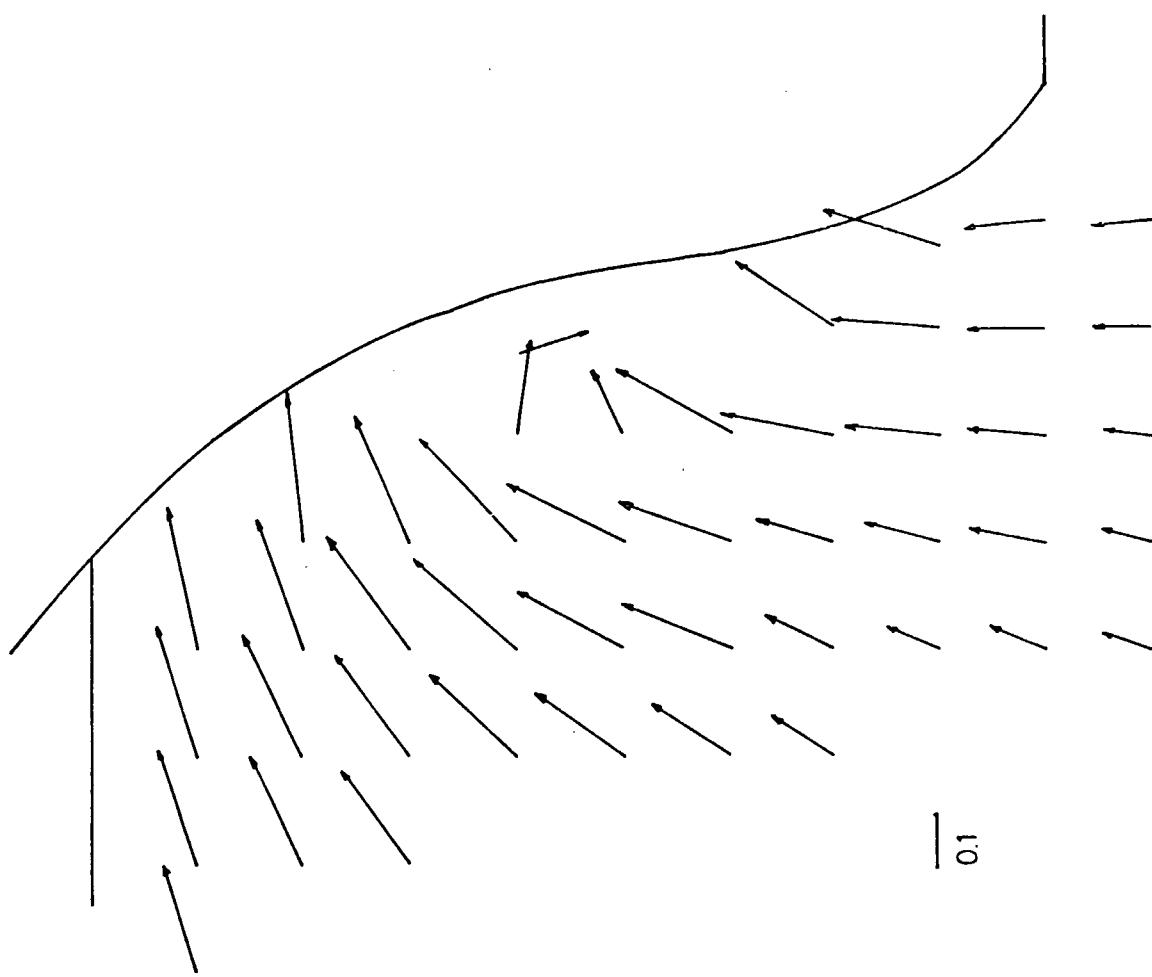


Fig. 4.2.2.4 Flow Pattern
(SS 1/2 without Prop.)

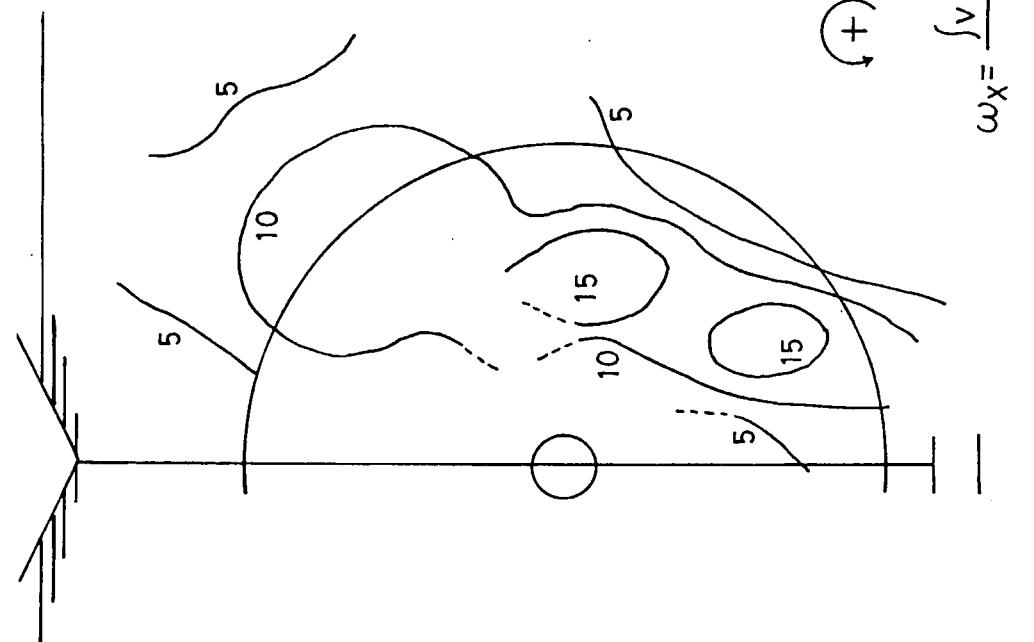


Fig. 4.2.2.3 Vorticity Distribution

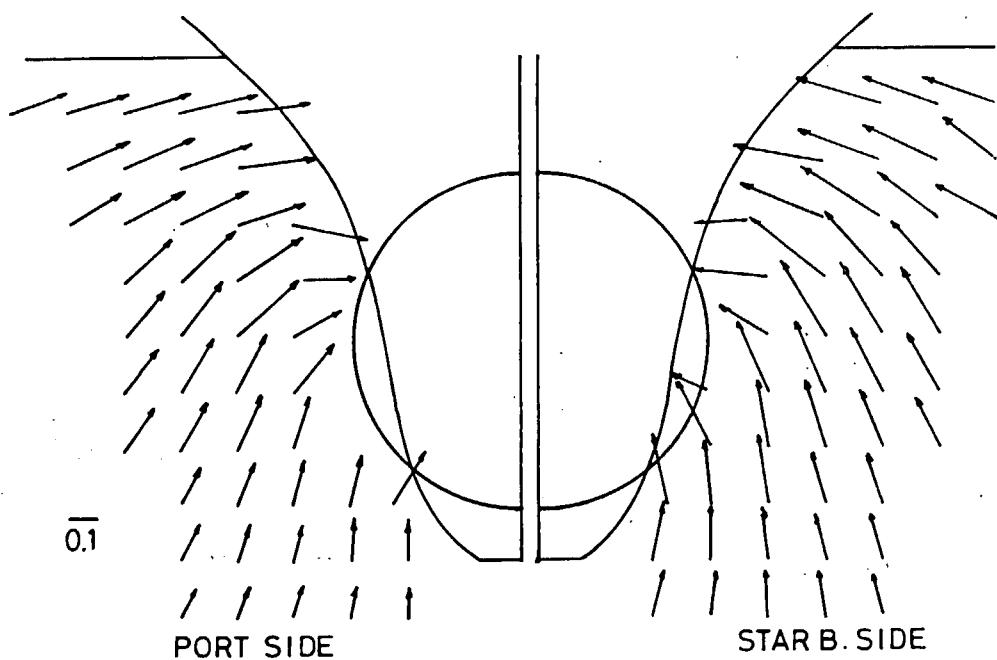


Fig. 4.2.2.5 Flow Pattern (SS 1/2 with Prop.)

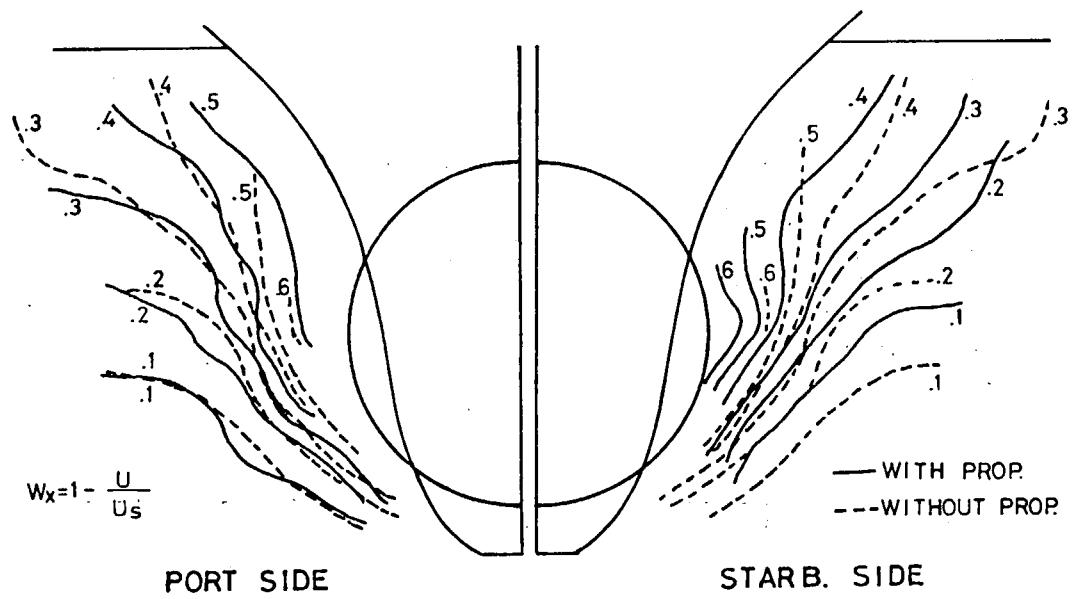


Fig. 4.2.2.6 Wake Distribution (SS 1/2)

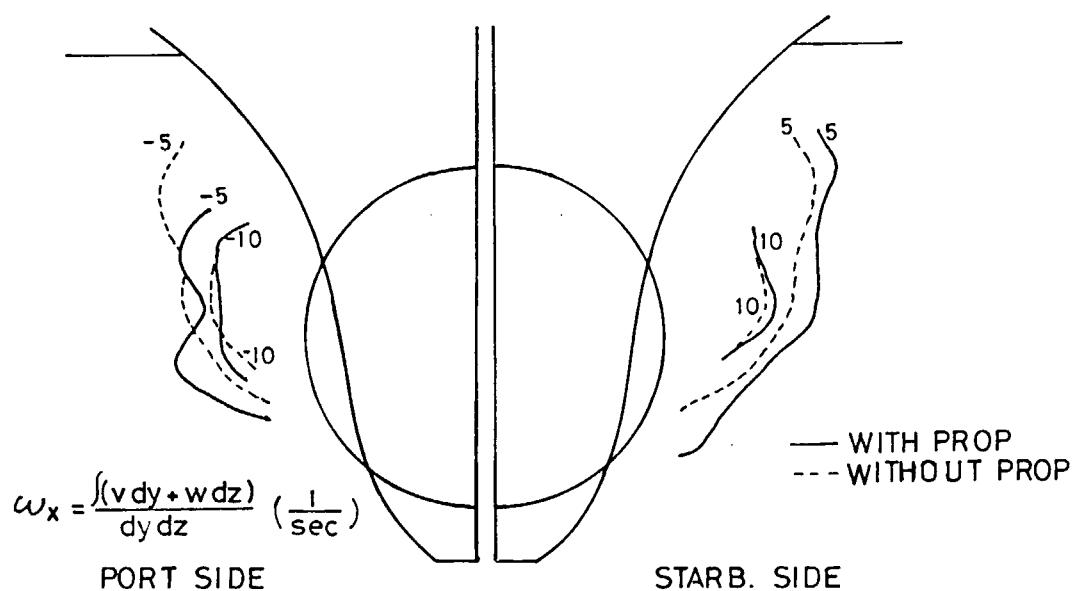


Fig. 4.2.2.7 Vorticity Distribution (SS 1/2)

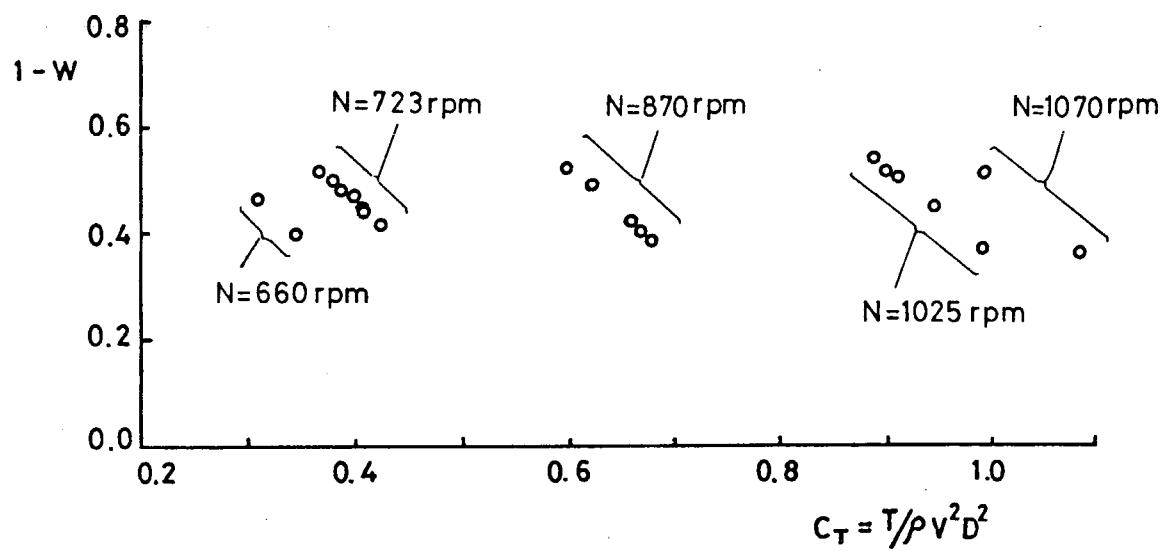


Fig. 4.2.2.8 Result of Propeller Load Test, $F_n=0.18$, 65% Full Load

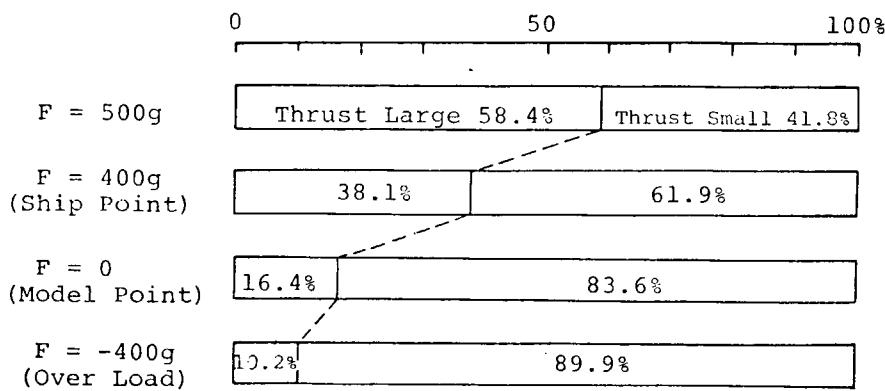


Fig. 4.2.2.9a Thrust

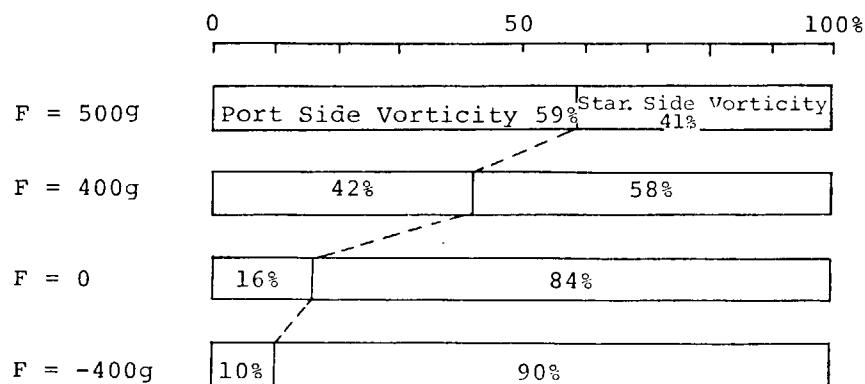


Fig. 4.2.2.9b Vorticity

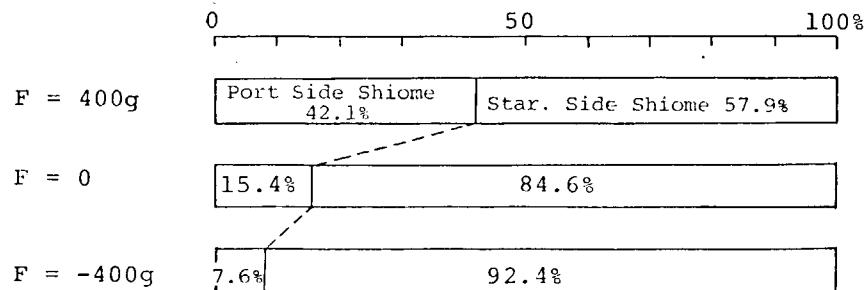
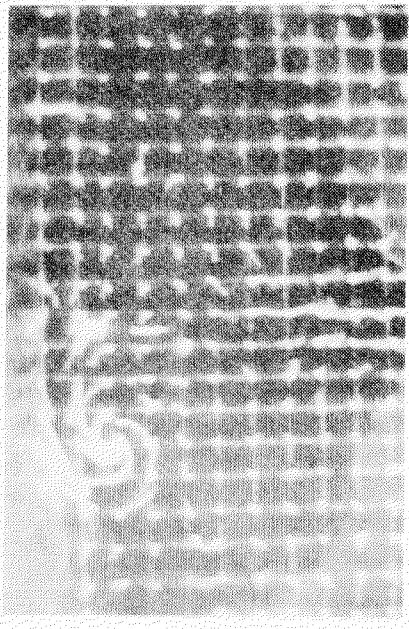
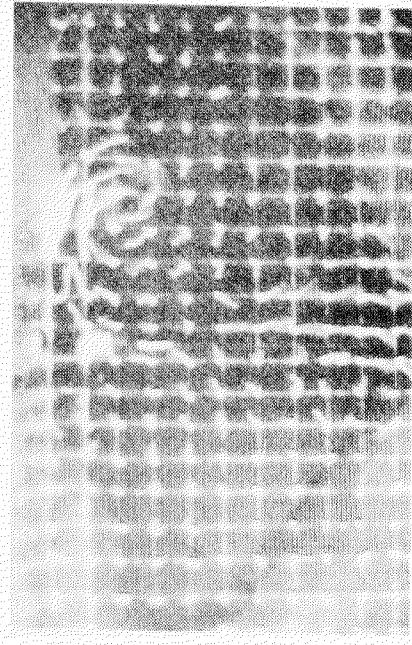


Fig. 4.2.2.9c Shiome



$F = 400g$ (Ship Point)



$F = 0$ (Model Point)

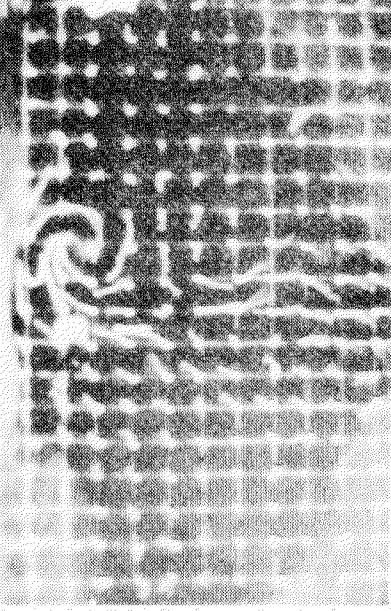
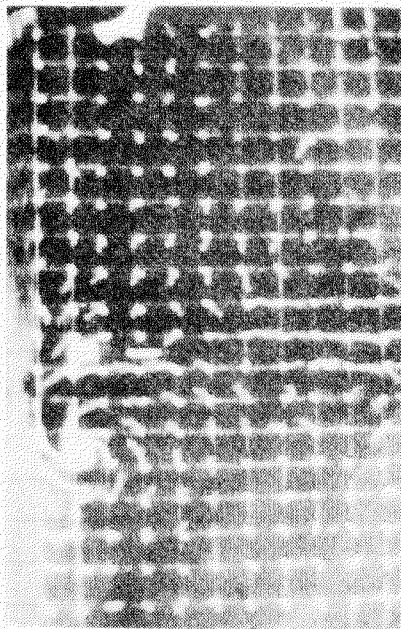
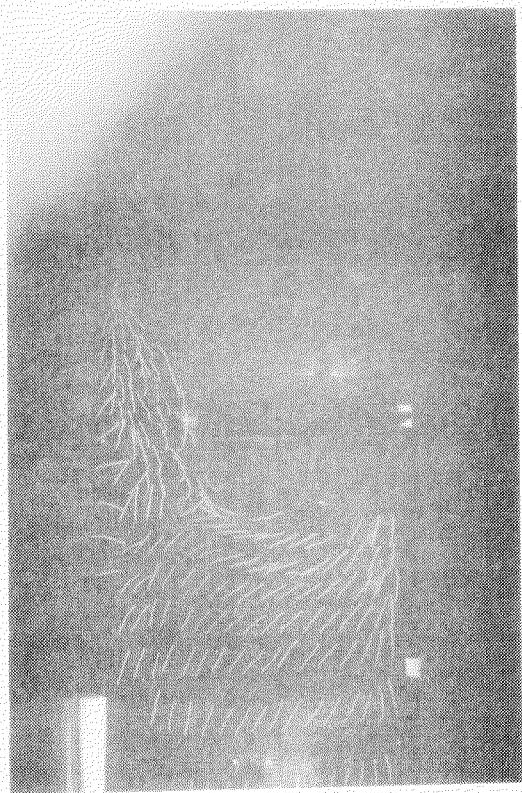
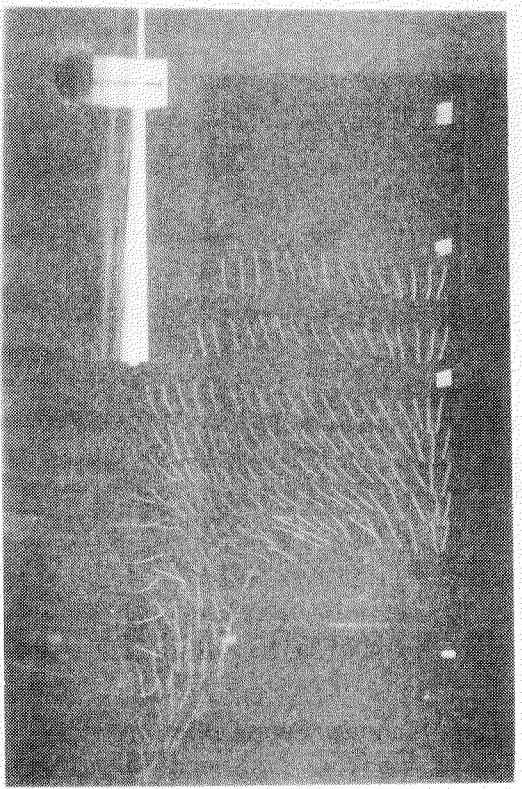


Fig. 4.2.2.10 Flow Observation, Tuft Grid AP-10cm



Port



Starboard

Fig. 4.2.2.11 Flow Observation, Full Load, Ship Point ($F=400g$)

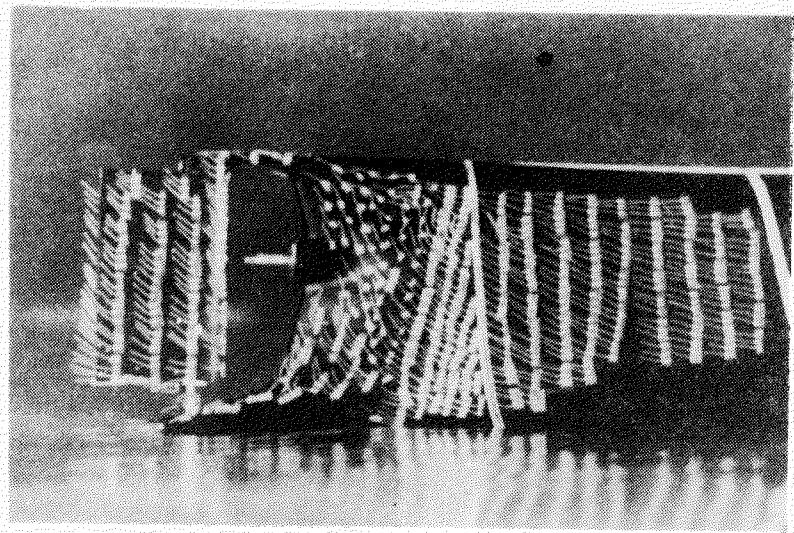
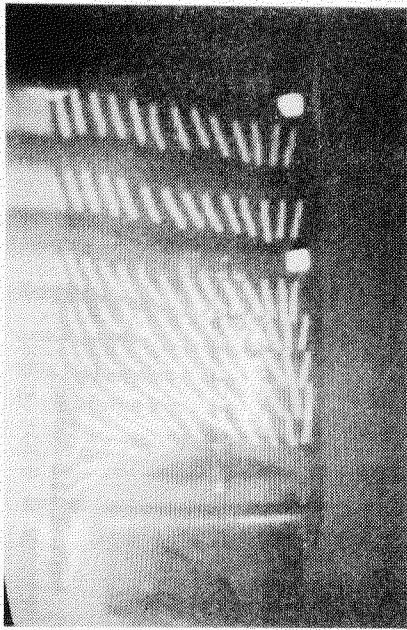
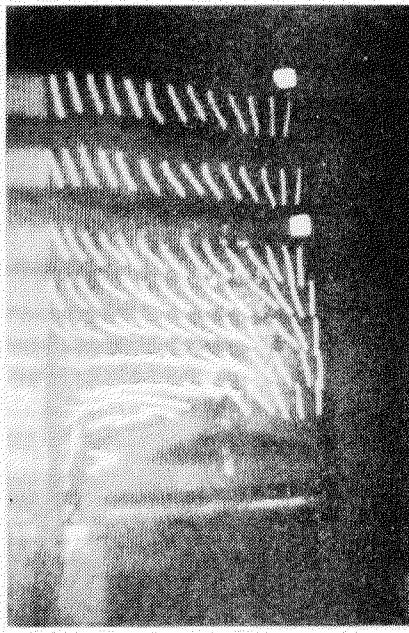


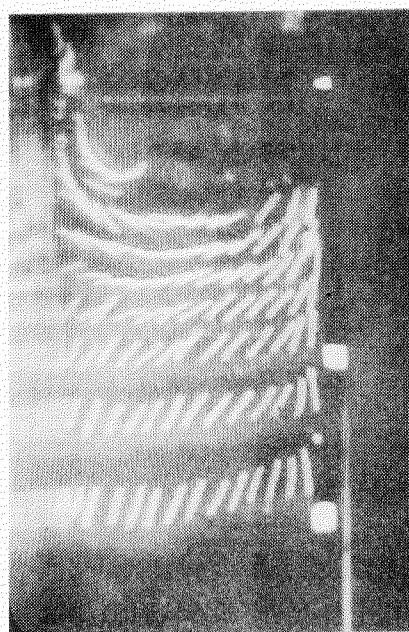
Fig. 4.2.2.12 Flow Observation Without Propeller,
65% Full Load



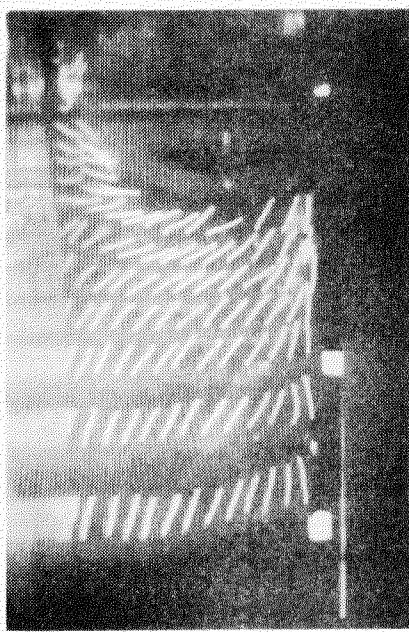
Starboard



Starboard



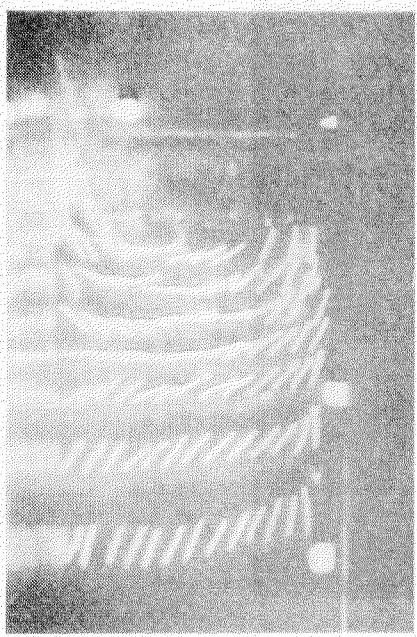
Port



Port

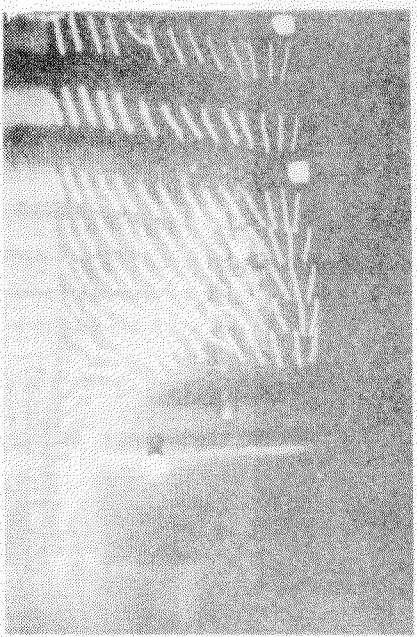
Shiome - Port Side

Fig. 4.2.2.13a Flow Observation, 65% Full Load,
 $F = 400g$ (Ship Point), $N = 770r.p.m.$



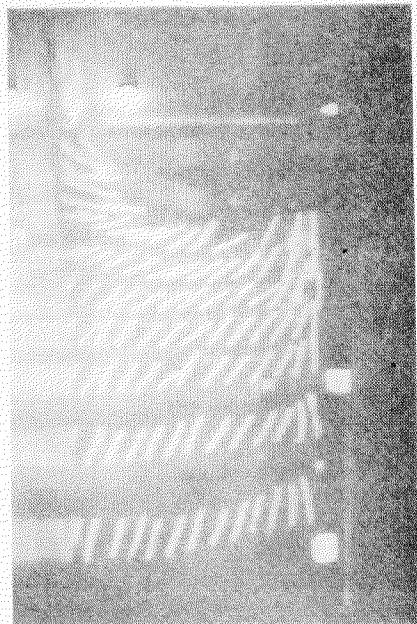
Port

Shiome - Port Side



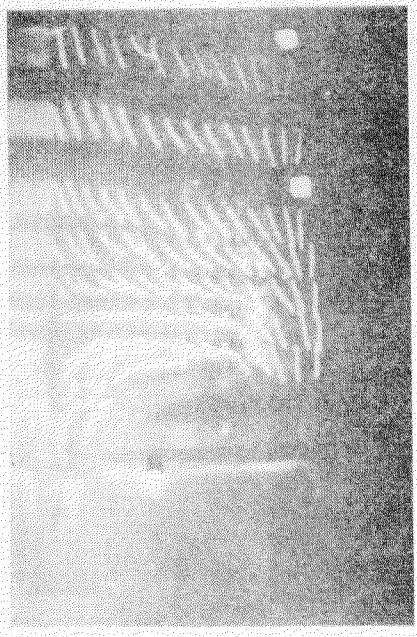
Starboard

Shiome - Starboard Side



Port

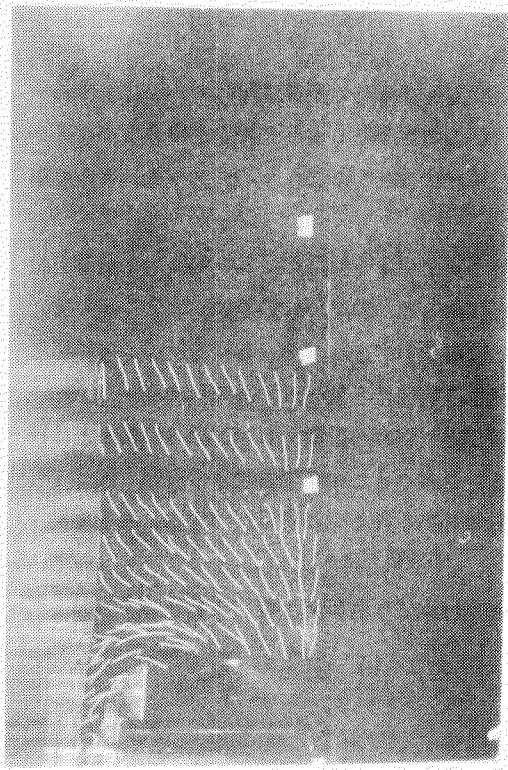
Shiome - Starboard Side



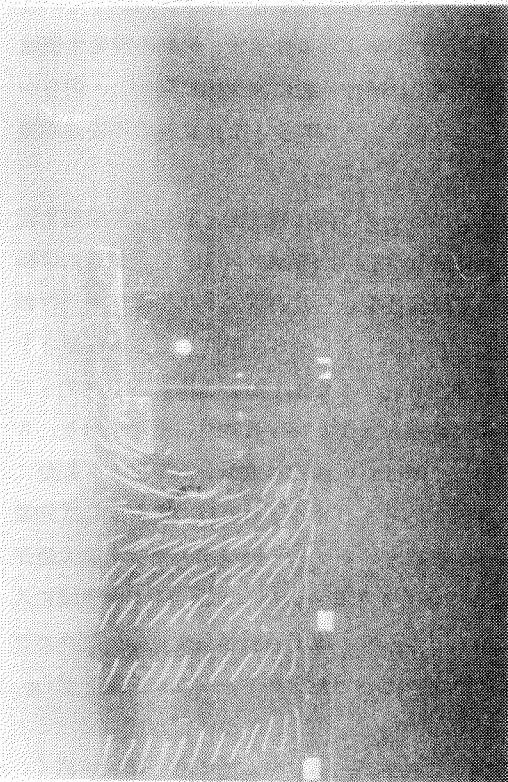
Starboard

Shiome - Starboard Side

Fig. 4.2.2.13b Flow Observation, 65% Full Load,
 $F = 0$ (Model Point), $N = 920\text{r.p.m.}$



Starboard



Port

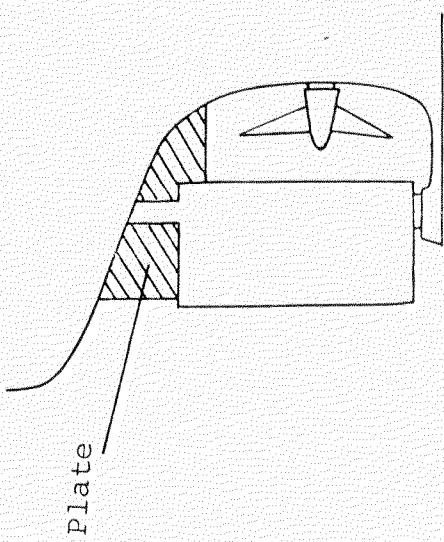


Fig. 4.2.2.14 Flow Observation With Plate,
65% Full Load, $F = 0$ (Model Point),
 $N = 920\text{r.p.m.}$

4.3 2 m模型船による実験と考察

4.3.1 まえがき

肥型模型船に現われることがある自航試験の不安定現象と船型・寸法との関係に関して、これまで若干の検討が行なわれ、定性的には傾向をある程度つかめてきているようであるが、支配する確かなパラメータあるいは判定基準がまだえられていない現状である。船型開発に当りこのようなパラメータ、判定基準、尺度影響が明らかにされることが望まれる。

そこで本部会昭和53年度研究の一つとして、自航試験の不安定現象と船尾形状との関係を小型模型船を用い、回流水槽で流れの観察を主にした実験を行なうことになった。船尾形状の種類は限られるので、船型との関係を判定する確かな基準・パラメータをえることは難しいであろうが、ある方針による船尾形状変更を行ない、その方針と自航試験不安定現象の関連、流れの状態など調べることにした。

また、自航試験の不安定現象における尺度影響、船尾水面付近の剥離の影響、ビルジ渦の影響などは模型船の境界層制御によりある程度調べることが出来ると考えられる。そこで不安定現象の原因・機構・性質など考察するための若干の資料をえるため、模型船の境界層制御を行ない船尾流れの観察、推力変動・圧力分布計測を行なうこととした。

以上の船型変更試験と境界層制御試験は東京大学工学部船用機械工学科回流水槽で実施することにした。

4.3.2 船型変更試験

(1) 供試模型船

本部会のこれまでの研究その他により自航試験の不安定現象が発生している模型船では、プロペラ上方、 $S S 1/2 \sim 1/4$ から後方で剥離・逆流が左右舷で非対称に起き、それが時々左右舷いれかわる現象が確かめられている。そこで、この現象は水面付近の船尾形状が密接に関与していると推定するのが大勢のようである。

ディフューザ内の流れは、レイノルズ数を一定に保ち拡がり角を変えて行くと、拡がり角が小さい時は剥離は発生せず、拡がり角が増加するにつれ、剥離が断続的に発生する過渡領域、剥離確実発生領域、ヒステリシス領域、ジェット領域となる。またディフューザ内の剥離は一般に非対称に発生し、何らかの原因で入れ替る現象が見られる。内部流と外部流の違いはあるが、この現象と自航試験の不安定現象で見られる流れとは一脈相通じるように思われる。

そこで、本実験では、水面付近の船尾形状に着目し、ディフューザの流れ判定図を利用して船型を定めることにした。ディフューザ拡がり角 2θ の代りに65%載貨状態の水線傾斜角 2δ を、長さ入口幅比 L/W の代りに $x_1/2\delta$ を使う。ただし、 x_1 は船体中央平行部後端からの距離、 δ は船体中央平行部境界層概略推定値で従来の実験結果から推定した。これによりSR159-51年度船型2m模型とYT-1船型2m模型¹⁾について $2\theta \sim x_1/2\delta$ の関係を示すとFig. 4.3.2.1のようになる。ステップ状推力変動を示すSR159-51年度船型では、 2θ 最大値がヒステリシス領域内の下部にあり、 $SS 1/2 \sim SS 5/8$ の曲線の傾斜変化が比較的小さい。激しく頻ぱんに推力が変動したYT-1船型では、 2θ 最大値がヒステリシス領域のほぼ中央にあり、 $SS 1/2 \sim SS 5/8$ の曲線の傾斜変化は比較的大きい。これを考慮し、 $SS 1$ 付近でSR159-51年度船型と交叉し、傾斜が大で 2θ 最大値がヒステリシス領域のやや上部まで深く入った船型 θ_L と傾斜がゆるく 2θ 最大値がヒステリシス領域に入らない船型 θ_S とを選定し、プロペラ軸から上方のみをSR159-51年度船型から変更し、プロペラ軸下方はSR159-51年度船型と全く同一とした。このように定めた $2\theta \sim x_1/2\delta$ 曲線をFig. 4.3.2.1、線図をFig. 4.3.2.2に示す。

船尾ビルジ渦も自航試験の不安定現象に関係があると考えられる。ビルジ渦が強くその領域が広く、

水面近くまで拡がっていれば、船尾水面付近の剥離・逆流が発生せず、自航試験の不安定現象は発生しないかも知れない。そこでビルジ渦の大小に影響があると考えられるビルジ半径を変更することにした。プロペラ軸下方のみ変更してビルジ半径を大幅に大きくすることは線図上かなり難しかったことから、船尾部ビルジ半径を S R 1 5 9 - 5 1 年度船型の $\frac{1}{2}$ にした船型 R B_S 1 種だけ試みることにした。

R B_S の線図も Fig. 4.3.2.2 にあわせて示す。

なお、船首形状および船尾側面形状は θ_L 、 θ_S 、R B_S とともに S R 1 5 9 - 5 1 年度船型と同一とした。供試模型船は木製で S R 1 5 9 - 5 1 年度船型と上記 3 種の計 4 隻で、その主要目を Table 4.3.2.1 に、またプロペラ主要目を Table 4.3.2.2 に示す。

(2) 試験状態

試験状態は、本部会の従来の試験状態にならい、満載状態、65%および44%載貨状態とした。Table 4.3.2.3 に試験状態を示す。速度 V は 0.8 m/s 1 点のみを原則とし、直進状態、曳航と自航、ただしプロペラ荷重度は model point を原則とし、状況に応じ斜航、プロペラ荷重度（回転数）変更、プロペラ直径変更も追加した。

(3) 実験方法および実験装置

まず、推力および A P における横力の変動を記録しつつタフトグリッドによる船尾直後の流れの観察と潮目の観察を行なうことにした。推力および横力の計測装置は本部会昭和 52 年度研究報告書記載のものと同一である。タフトグリッドはグリッドます目 10 mm、グリッド線径 0.3 mm、タフト長約 50 mm で、グリッド設置位置は船尾端から約 15 mm 後方 (A P 下流約 85 mm) である。タフトグリッドの観察・記録は下流から行ない、8 ミリ映画および 35 ミリスチール写真の撮影を行なうこととした。

タフトグリッド法、潮目の観察などにより自航試験の不安定現象が直進時には θ_L 、 θ_S 、R B_S 船型ではほとんど発生していないようであったので、油膜法による限界流線の観察を行なうこととした。油膜材料にはカーボンブラック、ペロシティ油、オリーブ油を用いた。ただし S R 1 5 9 - 5 1 年度船型については本部会昭和 52 年度報告書記載のようにすでに実施されているので油膜法による実験は省略した。また試験状態は満載状態と 65% 載貨状態とした。

追加試験として行なう斜航試験、プロペラ荷重度変更試験およびプロペラ直径変更試験は推力、横力の記録、潮目の観察のみとした。

(4) 実験結果および考察

(a) 直進・曳航および model point 自航時試験

直進状態におけるタフトグリッドによる船尾下流の流れの観察スケッチ例を Fig. 4.3.2.3 ~ 4.3.2.6 に示す。ただし、このタフトグリッド図は変動する流れの一瞬の状態を示したもので視差無修正である。油膜法の結果を Fig. 4.3.2.7 ~ 4.3.2.32 に示す。推力変動の型、横力変動の状態、潮目の状態、タフトグリッドおよび油膜による流れの観察結果を Table 4.3.2.4 に示す。²⁾

S R 1 5 9 - 5 1 年度船型では、65% 載貨状態でステップ状（日本造船技術センターフレーム B 1 型）の自航試験の不安定現象が発生し、右舷潮目の状態が長く持続する傾向を示したが、タフトグリッドによる観察では左潮目の方が渦の位置や流向が比較的安定していたのに対し、右潮目の方は右潮目時間中の流向の変動が激しかった。

θ_L 船型では、直進時は各載貨状態とも自航時は右舷に潮目が断続的に発生し、右舷側のみでその位置が変動し、65% 載貨状態では横力変動の振幅は比較的大きい。潮目に関しては、短い一定しない周期で激しく左右舷に切替わる B 3 型あるいは C 型¹⁾を期待していたが予想に反する結果となった。横力・推力は短周期の変動があったが、自航試験の不安定現象は認められなかった。またプロペラ回転数を変えても、速度を変えても潮目の左右舷移動は発生せず、自航試験の不安定現象は見られなかった。曳航時のタフトグリッドの結果ではビルジ渦領域が比較的小さく少し低く、油膜法の結果では

ビルジ渦の付着線推定位置は比較的低く、肋骨線形状を上部で抜けV型にした影響が現われ、また、満載状態では両舷のA P ~ S S $\frac{1}{2}$ の水面付近における限界流線の上向き傾斜が甚しく大きく他の船型に比較し最も大きく、65%載貨状態では右舷S S $\frac{1}{4}$ ~ $\frac{1}{2}$ の水面付近における限界流線の上向き傾斜はやや大きく他の船型と比較して最も大きくなっている。タフトグリッドの結果とよく対応し、水面付近に強い逆縦渦が発生していることを示している。Y T - 1、S R 1 5 9 - 5 1 年度船型の油膜法による結果で見られた潮目発生舷のA P ~ S S $\frac{1}{4}$ のプロペラ上方、およびプロペラポストの上半部における甚しい逆流は殆んどなく、僅にプロペラ直上の船体下部に少し見られるだけである。

θ_s 船型では、満載状態で自航時に明瞭ではないが潮目が時々左右舷に移動するように見える。横力変動はステップ状ではなく、時々右か左方向に0.1 sec 程度の短時間や大きな値が現われるだけで、推力記録にはB 1 ~ B 3、C型の変動はないようである。自航試験の不安定現象は発生していないと思われる。他の載貨状態では潮目は見られず、自航試験の不安定現象は発生していない。曳航時のタフトグリッドの結果ではビルジ渦領域が比較的大きく位置がやや高く、油膜法の結果ではビルジ渦付着線推定位置が比較的高く、肋骨線形状を上部でせめた影響が現われている。油膜法の結果では満載状態の左舷A P ~ S S $\frac{1}{4}$ の水面付近における限界流線の上向き傾斜がやや大きく右舷より大であり、65%載貨状態ではこの上向き傾斜が殆んど見られず、タフトグリッドの結果とよく対応している。逆流らしい流れは、プロペラ直上の船体下部にほんの僅に見られるだけである。

R B s 船型では、満載状態で自航時に明瞭ではないが潮目が短周期で左右舷に出るように見える。しかし横力変動は時々左舷方向に0.1 sec 程度の短時間やや大きな値が現われるだけで、推力記録にはB 1 ~ B 3、C型の変動はないようである。他の載貨状態では潮目は右舷のみで、横力変動は時々左舷方向に0.1 sec 程度の短時間やや大きな値が現われるだけで、推力記録にはB 1 ~ B 3、C型の変動はないようである。この船型も自航試験の不安定現象は発生していないようである。曳航時のタフトグリッドの結果ではビルジ渦中心位置がやや外に拡がり、ビルジ渦の形が他の船型より丸くなっている。油膜法の結果では逆流らしい流れはプロペラ直上の船体下部にごく僅に見られるだけである。ビルジ渦とは逆回転のプロペラ軸下方の2次的な逆縦渦（ビルジ逆渦）は、油膜法の結果により4船型全てに認められるが（S R 1 5 9 - 5 1 年度船型については本部会昭和52年度報告書参照）今回油膜法実験を行なった3船型のうち、ビルジ部曲率が最も大きいR B s 船型でこのビルジ逆渦が自航時でも最も明瞭に見られ、強いと考えられる。

以上の結果をみると、 θ_L 、 θ_s 、R B s 船型は65%載貨状態直進時model point では潮目片舷のみか、または発生せず、自航試験の不安定現象は発生せず、ビルジ渦領域の位置・大きさとに若干関連があるよう見える。肋骨線上部の幅を変更すればビルジ渦の付着線位置や大きさなどに変化があり、また水面付近に逆縦渦が発生するとビルジ渦領域は小さくなりビルジ渦付着線の位置は低くなる。しかし、水面付近における流れの不安定な左右非対称な剥離が自航試験の不安定現象の直接原因であるならば、このビルジ渦の大小・強弱は不安定現象の発生に間接的影響をもつだけかも知れない。

(b) 追加試験

上記直進時の試験結果を見ると、船尾横力平均値は全て左向きになっている。使用した回流水槽は測定部水面流向が測定部中心線と僅ではあるが平行ではなく、上から見て上流左側から下流右側に向か0.6° ~ 1.0° 傾斜している。この流れの傾斜の影響が油膜法の結果における船体下部のビルジ逆渦域の左右舷における高さの差として現われたのかも知れない。船尾平均横力の方向は水面における流れの傾斜の方向とは逆であり、曳航時船尾を拘束せず自由にした場合、 θ_L 船型では船尾を定的に左に振り（測定部中心線に対し斜航角右1.2°）斜航角が大きく、船尾を右に振る場合はなかった。他の船型では船尾を無拘束にしても曳航時にこのような著しい斜航癖はなかった。

θ_L 船型の模型を再点検したが、通常の試験で特に問題になる程の精度不良、変形、前半・後半接続部の曲がりは認められなかった。 θ_L 船型のように肥えた船尾の場合、剥離が発生し易く、模型製作の僅かな誤差、型板を当てない各 square station の中間、プロペラボスト直前やその直上の凹部などにおける左右の形状のごく僅かな違いにより、流れの非対称が起り易く、左右舷の圧力分布に差を生じ、曳航時でも斜航癖あるいは直進時横力平均値を生じたと考えられる。この種の実験における模型の製作精度の重要性があらためて認識される。

そこでまず、 $L_{pp} 7 m$ 模型で自航試験の不安定現象が発生している θ_L 船型について、 $L_{pp} 2 m$ 模型での不安定現象発生の有無を確かめるため、プロペラ荷重度変更を含む斜航試験とプロペラ直径変更試験を行なった。

θ_L 船型斜航試験は 6.5% 載貨状態 $V = 0.8 \text{ m/s}$ で行なった。model point で斜航角を右に増して行くに従い、時々一瞬潮目が左舷に移るようになり、斜航角右 2° 付近では潮目の左右舷移動頻度が大きくなり、さらに斜航角を増して行くと左潮目に固定した。このようにこの模型は自航試験の不安定現象が直進時には発生せず、斜航角右 2° 付近で発生することが判明した。Fig. 4.3.2.3.3 に斜航時推力・横力の記録例を示す。斜航角右 2° の斜航試験ではプロペラ回転数により不安定現象の発生状況が変化し、20 rps では左潮目、24 rps では殆んど左潮目で、たまに瞬間に潮目が右舷に移り、27 rps (model point) 付近では推力変動・潮目移動は B1 型的であった。さらにプロペラ回転数を増すにつれ、潮目の左右舷移動頻度が大きくなり、30 rps 付近では B3 型的に変化した。横力は左向きと右向きとに変動した。速度 V を変更しても以上と同様の傾向が見られた。

θ_L 船型プロペラ直径変更試験では、直径 53.1 mm の小直径プロペラ (S R 159 昭和 52 年度報告書参照) に変更し 6.5% 載貨状態で行なった。Fig. 4.3.2.3.4 に推力・横力の記録例を示す。本実験では、直進時でも若干自航試験の不安定現象が現われ、右潮目・横力左向き・推力小の状態が長く現われ、ごく短時間左潮目・横力右向き・推力大の状態となった。潮目は明瞭で、潮目側の SS $1/4$ 付近の水面に時々激しい逆流らしい流れが見られた。横力は左向きと右向きとに変動した。この場合もプロペラ回転数の増加とともに、推力変動の波形は B1 または B2 型的から B3 型的に変化している。

以上のように θ_L 船型でも自航試験の不安定現象が認められたので、直進自航時の潮目有無の状況から判断して RB_S 船型も不安定現象が発生する可能性が考えられ、RB_S 船型の追加試験を行なうこととした。6.5% 載貨状態のみとし、直進時プロペラ荷重度変更試験、流速変更試験、斜航試験、プロペラ直径変更試験を行なった。

RB_S 船型直進時プロペラ荷重度変更試験は $V = 0.8 \text{ m/s}$ で行なった。その横力・推力の記録例を Fig. 4.3.2.3.5 に示す。この試験ではプロペラ回転数 18 ~ 24 rps において潮目の左右舷移動が見られた。結果の概要は次の通りである。

- (i) 18 rps : Fig. 4.3.2.3.5(a) に示すように横力変化が推力変化より著しく遅れる現象が現われた。この時はプロペラ回転数を変えて試験を継続して行なっている間であり、模型・計測器の調整など一切行なっていないので、流れの現象を本記録は現わしていると思われる。しかし、流れの可視化を行なっていないので流れの状態・機構は不明である。左潮目の方が多い。
- (ii) 20 rps : Fig. 4.3.2.3.5(b) に示すように推力変化と横力変化の関係が不明瞭で、横力変化が明瞭に見られる。左潮目の方が多い。
- (iii) 23 ~ 24 rps : Fig. 4.3.2.3.5(c) に示すように推力変化と横力変化が同時であり、B1 型的変動である。右潮目の時間が増して来る。
- (iv) 26 rps (model point) 以上 : 潮目は右舷のみに発生する場合が多いが、右舷に潮目が

発生したまま、時々左舷にも潮目が発生する場合があった。この場合は Fig. 4.3.2.3.5(d)に示すように推力・横力変化はやや明瞭ではなくなる。

R B_S船型直進時流速変更試験はプロペラ回転数 26 rps で行なった。その結果の概要は次の通りである。

(i) 0.87 m/s 未満：潮目は殆んど右舷のみに見られ、推力変化は認められない。

(ii) 0.87 m/s : 潮目の左右舷移動が見られる。推力変化と横力変化は同時である。

R B_S船型斜航試験は $V = 0.8 \text{ m/s}$ 、プロペラ回転数 26 rps で行なった。曳航時船尾を拘束しない場合、斜航角は計測出来ない程小さかった。斜航試験における推力・横力記録の例を Fig. 4.3.2.3.6 に示す。結果の概要は次の通りである。

(i) 斜航角 0°～右 0.2°：殆んど右潮目で、推力変化は認められない。

(ii) 斜航角右 0.4°：潮目の左右舷移動あり。推力・横力の変化があり、同時である。その変動状況は B 1 型的である。

(iii) 斜航角右 0.6°～1.5°：殆んど左潮目で、推力変化は認められない。

R B_S船型プロペラ直径変更試験は直進、 $V = 0.8 \text{ m/s}$ 、プロペラ直径 53.1 mm で行なった。推力・横力の記録例を Fig. 4.3.2.3.7 に示す。その結果の概要は次の通りである。

(i) 20～26 rps : 左潮目が継続して現われ、時々右舷にも潮目が同時に現われ共存する。推力・横力変化は不明瞭である。

(ii) 28 rps : 潮目の左右舷移動が現われ、Fig. 4.3.2.3.7(a)に示すように推力・横力変化は同時であり、その変動状況は B 1 型的である。

(iii) 30 rps : 潮目の左右舷移動が現われ、Fig. 4.3.2.3.7(b)に示すように推力変化は明瞭であるが、横力変化は明瞭ではない。

(iv) 32 rps : 殆んど右潮目で、時々左舷に現わることがある。

以上により、R B_S船型は直進時ではプロペラ荷重度が小さい時、自航試験の不安定現象が発生し、model point では斜航角右 0.4° で不安定現象が出ることが判明した。しかし S R 159-51 年度船型に比較して、自航試験不安定現象が現われる範囲がやや狭いようである。

(c) まとめ

各種船尾形状 Lpp 2 m 模型船についての直進時試験、プロペラ荷重度変更試験、斜航試験、プロペラ直径変更試験の結果をまとめると次のようになる。

(i) 本実験範囲では、ディフューザ判定図で $2\theta \sim x_1 / 2\delta$ 曲線が SS $3/4$ ～船尾端でヒステリシス領域に入る船型で自航試験不安定現象が発生し、ヒステリシス領域の上部にあるほど推力変動状況の型は B 1 型から B 2 、B 3 型になり易くなる。ヒステリシス領域以下になった船型は自航試験不安定現象が発生していない。

(ii) θ_L 船型ではプロペラ荷重度により推力変動の型が変化する。

(iii) S R 159-51 年度船型ではプロペラ荷重度により推力変動の型は変化せず B 1 型的である。
(4.3.3 参照)

(iv) R B_S船型では S R 159-51 年度船型より自航試験不安定現象が発生するプロペラ荷重度範囲がやや狭い。推力変動の型は B 1 型的である。

参考文献

- 1) 日本造船研究協会研究資料 No. 289、第 159 研究部会報告書（昭和 53 年 3 月）
- 2) 島田秀三：肥大模型船の自航試験における不安定現象発生時の記録のタイプについて 日本造船技術センター技報第 3 号（昭和 50 年 3 月）

Table 4.3.2.1 Principal Particulars of Ship Models

SHIP MODEL	SR159-51 MODEL	θ_L	θ_S	RBs
L _{pp} (m)	2.000	2.000	2.000	2.000
B (m)	0.333	0.333	0.333	0.333
d (Full Load) (m)	0.1208	0.1208	0.1208	0.1208
V (Full Load) (m ³)	0.0646	0.0651	0.0642	0.0647
C _B (Full Load)	0.802	0.808	0.797	0.803
L/B	6.0	6.0	6.0	6.0
B/d	2.76	2.76	2.76	2.76

Table 4.3.2.2 Principal Particulars of Propeller Model

Diameter (mm)	58.3
Pitch (mm)	41.6
Pitch Ratio	0.7143
Expanded Area Ratio	0.665
Number of Blade	5
Boss Ratio	0.18
Angle of Rake	10°
Blade Thickness Ratio	0.050
Direction of Revolution	Right
Type	MAU

Table 4.3.2.3 Test Condition

Model	SR-159-51 Model				θ_L				θ_S				RBs			
	Full Load	65% Load	44% Load	Full Load	65% Load	44% Load	Full Load	65% Load	44% Load	Full Load	65% Load	44% Load	Full Load	65% Load	44% Load	
d_A (m)	0.1208	0.0913	0.0769	0.1208	0.0913	0.0769	0.1208	0.0913	0.0769	0.1208	0.0913	0.0769	0.1208	0.0913	0.0769	
d_m (m)	0.1208	0.0813	0.0569	0.1208	0.0813	0.0569	0.1208	0.0813	0.0569	0.1208	0.0813	0.0569	0.1208	0.0813	0.0569	
d_f (m)	0.1208	0.0713	0.0369	0.1208	0.0713	0.0369	0.1208	0.0713	0.0369	0.1208	0.0713	0.0369	0.1208	0.0713	0.0369	
Trim (%LPP)	0	1.0	2.0	0	1.0	2.0	0	1.0	2.0	0	1.0	2.0	0	1.0	2.0	
V (m^3)	0.0646	0.0420	0.0284	0.0651	0.0421	0.0285	0.0642	0.0419	0.0284	0.0647	0.0421	0.0285				

Table 4.3.2.4 (a) Results on SR159-51 Model, V=0.8m/s
Yaw-angle 0°, Model Point

曳航 自航		載貨状態	推力変動	船尾横力	潮目	タフトクリッド法	油膜法
曳航	満載		計測せず		なし	右舷上部 Y = 6.0 mm/°C 逆縦渦。 左舷上部 Y = 2.0 ~ 6.0 mm/°C 弱い扁平逆縦渦。ビルジ渦領域 Z = 3.0 ~ 14.0 mm。ビルジ渦中心間隔約 4.0 mm、深さ約 9.0 mm。	実施せず
	6.5%		ピーク値 平均値 短周期変動	左向き 2.8 g 右向き 1.3 g 左向き 6 g	なし	上部逆縦渦なし。 ビルジ渦領域 Z = 2.0 ~ 10.0 mm。 ビルジ渦中心間隔約 4.0 mm、深さ約 6.0 mm。	実施せず
	4.4%		ピーク値 平均値 短周期変動	左向き 4.4 g 右向き 1.9 g 左向き 9 g	なし	上部逆縦渦なし。 ビルジ渦領域 Z = 2.0 ~ 9.0 mm。 ビルジ渦中心間隔約 4.5 ~ 5.0 mm、深さ約 5.0 mm。	実施せず
	A	ただし、たまに振幅大	ピーク値 平均値 短周期変動、たまに振幅大。 左ピーク値は 2 分位に 1 回	左向き 7.8 g 約 3 sec 間 左向き 4 g 左向き 2.8 g	時々左右に短周期の移動があるようだが不明確	右舷上部 Y = 4.0 ~ 5.0 mm/°C 逆縦渦。 左舷上部 Y = 4.0 ~ 5.0 mm/°C 逆縦渦。 左舷の方が強い。 中心線付近流向変動小。	実施せず
自航	満載		0 g 7 ~ 28 sec 間 左向き 3.4 g		左右切替え 右の時間が長い。	右舷上部 Y = 4.0 ~ 6.0 mm/°C 逆縦渦が発生する時は全体の流流向の変動が大で、まき込み不明瞭、左舷上部に逆縦渦なし。 左舷上部に逆縦渦が発生する時は Y = 2.0 ~ 3.0 mm で、流向変動がやや小さく、まき込み明瞭。	実施せず
	6.5%	B-1	平均値 A	左向き 5.9 g 左向き 3 g 左向き 2.8 g	不明瞭	時々右舷上部に逆縦渦が発生するらしいが、弱く、不明瞭。流向変動大。 空気吸込み発生。	実施せず
	4.4%	ただし、やや振幅大	ピーク値 平均値 短周期変動				

註：Yは船体中心線からの距離、Zは水面からの距離、P.P.はプロペラポスト、BLはBase Line

Table 4.3.2.4 (b)

Results on θ_L Model, $V=0.8m/s$

		Yaw-Angle 0° , Model Point					
曳航 自航	載貨状態	推力変動	船尾横力	潮目	タフトクリッド法	油膜法	
曳航 6.5%	満載	ピーカ値 平均値	左向き 4.6g 右向き 3.5g 0g	なし	左右舷上部 $Y = 0 \sim 110mm$ で流向変動あり。 ビルジ渦領域 $Z = 3.5 \sim 13.0mm$ 。 ビルジ渦中心間隔約 $3.5mm$ 、深さ約 $9.0mm$ 。	ビルジ渦付着線位置がやや低い。 P.P. ~ $1/2$ のプロペラ軸から下部に 2 次的なビルジ逆渦域（逆渦域）、右舷の方が上方に少し広い。プロペラ直上の船体下部に逆流なし。	
	曳航 4.4%	ピーカ値 平均値	左向き 4.4g 右向き 0g 左向き 6g	なし	上部に逆渦なし。 ビルジ渦領域 $Z = 1.0 \sim 11.0mm$ 。 ビルジ渦中心間隔 $3.5 \sim 4.0mm$ 、深さ約 $6.0mm$ 。	ビルジ渦付着線位置がやや低い。 P.P. ~ $5/8$ のプロペラ軸付近から下部に 2 次的なビルジ逆渦域、右舷の方が上方に少し広い。プロペラ直上の船体下部に逆流なし。	
	満載	ピーカ値 平均値	左向き 3.1g 右向き 1.9g 左向き 6g 左向き 2.7g	なし	上部に逆渦なし。 ビルジ渦領域 $Z = 0 \sim 10.0mm$ 。 ビルジ渦中心間隔約 $4.5mm$ 、深さ約 $5.0mm$ 。 流向変動小。	実施せず	
自航 4.4%	A 満載	ピーカ値 平均値 短周期変動	左向き 1.03g 右向き 5.3g 左向き 2.7g	右のみ 短周期変動	左右舷上部 $Y = 4.0 \sim 7.0mm$ に逆渦。 右の方がやや強い。 プロペラ部の流向変動小。	ビルジ渦付着線位置がやや低い。 P.P. ~ $1/2$ の曳航時の 2 次的なビルジ逆渦域が殆んど認められない。A P ~ S S $1/2$ の水面での限界流線の勾配が大。プロペラ直上の船体下部に少し逆流が認められる。	
	6.5%	A 満載	左向き 1.53g 右向き 5.9g 左向き 3.1g 殆どどの時間左向き	右のみ	右舷上部 $Y = 2.0 \sim 7.0mm$ に逆渦、変動大。 プロペラ付近流向変動やや大。	ビルジ渦付着線位置がやや低い。 S S $1/4$ 附近のソールビース付根付近に 2 次的なビルジ逆渦が僅に認められるが弱い。 S S $1/4$ ~ $1/2$ の水面での限界流線の勾配がやや大。プロペラ直上の船体下部に少し逆流が認められる。	
	4.4%	A 満載	左向き 3.5g 右向き 0g 左向き 3.1g 短周期変動	右 ただし、不明瞭	右舷上部 $Y \neq 2.0mm$ に逆渦らしい流れ、変動大。 プロペラ付近流向変動やや大。 空気吸込みなし。	実施せず	

註：Yは船体中心部からの距離、Zは水面からの距離

Table 4.3.2.4 (c)
Results on θ_s Model, $V=0.8m/s$
Yaw-Angle 0° , Model Point

曳航 自航	載貨状態	推力変動	船 尾 橫 力	潮 目	タフトクリッド法	油 膜 法
曳航 6.5%	満 載	ピーク値 平均 値 短周期変動	左向き 4.4g 右向き 4.8g 左向き 4.8g	な し	左右舷上部Y = 0 ~ 30mm流向変動や大。 逆縦渦存在不明瞭 ビルジ渦領域Z = 30 ~ 130mm。 ビルジ渦中心間隔 3.5 ~ 4.0mm、深さ約 8.5 mm。	ビルジ渦付着線位置がやや高い。 P.P. ~ 3/4 のプロペラ軸下部に 2 次的なビルジ逆渦域、右舷の方が上方に少し広い。 プロペラ直上の船体下部に逆流なし。
	電航 4.4%	ピーク値 平均 値 短周期変動	左向き 3.8g 0 g 左向き 1.8g	な し	上部に逆縦渦なし ビルジ渦領域Z = 0 ~ 110mm。 ビルジ渦中心間隔 4.0 ~ 4.5mm、深さ約 6.5 mm。	ビルジ渦付着線位置がやや高い。 P.P. ~ 3/4 のプロペラ軸下部に 2 次的なビルジ逆渦域、右舷の方が上方に少し広い。 プロペラ直上の船体下部に逆流なし。
	満 載	ピーク値 平均 値 短周期変動	左向き 3.1g 0 g 左向き 9g	な し	上部に逆縦渦なし ビルジ渦領域Z = 0 ~ 100mm。 ビルジ渦中心間隔 約 50mm、深さ約 5.5mm。 流向変動小	ビルジ渦付着線位置がやや高い。 P.P. ~ 1/2 のプロペラ軸下部に 2 次的なビルジ逆渦域が認められるが弱い。AP ~ SS 1/4 の水面での限界流線の勾配がやや大、この勾配は θ_L 、RBs より小さく、勾配がやや大きい領域も θ_L 、RBs より小さい。プロペラ直上の船体下部に逆流が少し認められる。
自航 6.5%	A ただし、たまに振幅大	ピーク値 平均 値 短周期変動	左向き 5.9g 右向き 2.5g 左向き 2.5g 左向き右向き比率 2 : 1	左右舷上部Y = 3.0 ~ 5.0mmに逆縦渦。 左の逆縦渦の方が強い。 プロペラ部の流向変動小。 左の方が明瞭	左右舷上部Y = 3.0 ~ 5.0mmに逆縦渦。 左の逆縦渦方が強め。 プロペラ部の流向変動小。	ビルジ渦付着線位置がやや高い。 P.P. ~ 1/2 のプロペラ軸下部に 2 次的なビルジ逆渦域が認められるが弱い。AP ~ SS 1/4 の水面での限界流線の勾配がやや大、この勾配は θ_L 、RBs より小さく、勾配がやや大きい領域も θ_L 、RBs より小さい。プロペラ直上の船体下部に逆流が少し認められる。
	A ただし、たまに振幅大	ピーク値 平均 値 短周期変動、たまに振幅大	左向き 6.2g 右向き 9g 左向き 3.1g 左向き右向き比率 2 : 1	な し	右舷上部Y = 2.0 ~ 5.0mmにごく弱い逆縦渦。 プロペラ部の流向変動小。	ビルジ渦付着線位置がやや高い。 P.P. のプロペラ軸下方向から SS 3/4 の要水中央にかけ明瞭に 2 次的なビルジ逆渦離線が認められ、その位置は θ_L よりやや高い。 プロペラ直上の船体下部の逆流は殆んど認められない。
	4.4%	A ただし、たまに振幅大	左向き 4.1g 右向き 1.3g 左向き 2.1g 左向き右向き比率 2 : 1	な し	上部中心線付近の流向変動や大、逆縦渦殆んどなし。 プロペラ部流向変動やや大。 空気吸込みなし。	実施せず

Table 4.3.2.4 (d)

Results on RBs Model, $V=0.8m/s$

曳航 自航	載貨状態	推力変動	船尾横力	潮目	タフトグリッド法		油膜法
					Yaw-Angle 0°, Model Point		
曳航	満 載	ビーク値 平均値 短周期変動	左向き 右向き 左向き	な な な	上部に弱い逆縫渦。左の方が弱い。 S R 1 5 9 - 5 1 船型より弱い。 ビルジ渦領域 $Z = 3.5 \sim 13.0 mm$ 。 ビルジ渦中心間隔約 5.0 mm、深さ約 9.0 mm。	ビルジ渦付着線位置は θ_L と θ_S の中間。 P.P. ~ SS 1/2 付近のプロペラ軸下方に 2 次的なビルジ逆渦域、 θ_L 、 θ_S より位置が低い。プロペラ直上の船体下部に逆流なし。	
					右舷上部 $Y \neq 2.0 mm$ に小逆縫渦。左舷にはない。 ビルジ渦領域 $Z = 1.0 \sim 11.0 mm$ 。 ビルジ渦中心間隔約 5.0 mm、深さ右約 7.5 mm、左約 6.5 mm、左渦大。	ビルジ渦付着線位置は θ_L と θ_S の中間。 P.P. ~ SS 7/8 のプロペラ軸下方に 2 次的なビルジ逆渦域、 θ_L 、 θ_S より位置が低い。プロペラ直上の船体下部に逆流は殆んど認められない。	
					上部逆縫渦なし。 ビルジ渦領域 $Z = 0 \sim 10.0 mm$ 。 ビルジ渦中心間隔約 5.0 mm、深さ約 6.0 mm。	ビルジ渦付着線位置は右舷では θ_L より低く、左舷では θ_L とほぼ同じ位の高さ。 P.P. ~ SS 1/2 付近の下部に 2 次的なビルジ逆渦域が明瞭に認められる。ビルジ渦剥離位置は θ_L 、 θ_S より低く、明瞭。A P ~ SS 3/4 の水面での限界流線勾配がやや大、その勾配は θ_L と θ_S の中間。プロペラ直上で少し逆流。	実施せず
	4.4 %	ビーク値 平均値 短周期変動	左向き 左向き 左向き	な な な	短周期で左右に出るようになります。	右舷上部 $Y \neq 5.0 mm$ に逆縫渦。 左右ほぼ同じ位の大さきの渦。 プロペラ付近の流向変動小。	
					A ただし、たまに振幅が大	ビルジ渦付着線位置がやや高く、 θ_S とほぼ同じ位。P.P. ~ SS 7/8 の BL とプロペラ軸高さの中央以下に 2 次的なビルジ逆渦域が明瞭、この剥離線は水平的。プロペラ直上の船体下部に若干逆流が認められる。	
					A ただし、たまに振幅が大	右舷上部 $Y = 2.0 \sim 5.0 mm$ に逆縫渦。 プロペラ付近の流向変動や大。 空気吸込み少し発生。	実施せず
自航	4.4 %	ビーク値 平均値 短周期変動	左向き 右向き 左向き	右	右舷上部 $Y = 1.0 \sim 2.0 mm$ に逆縫渦。 プロペラ付近の流向変動や大。 空気吸込み少し発生。		

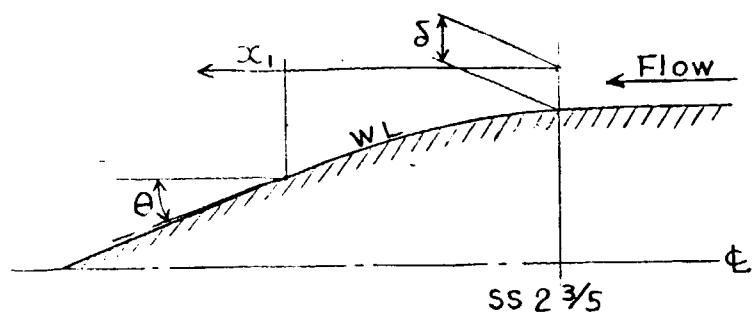
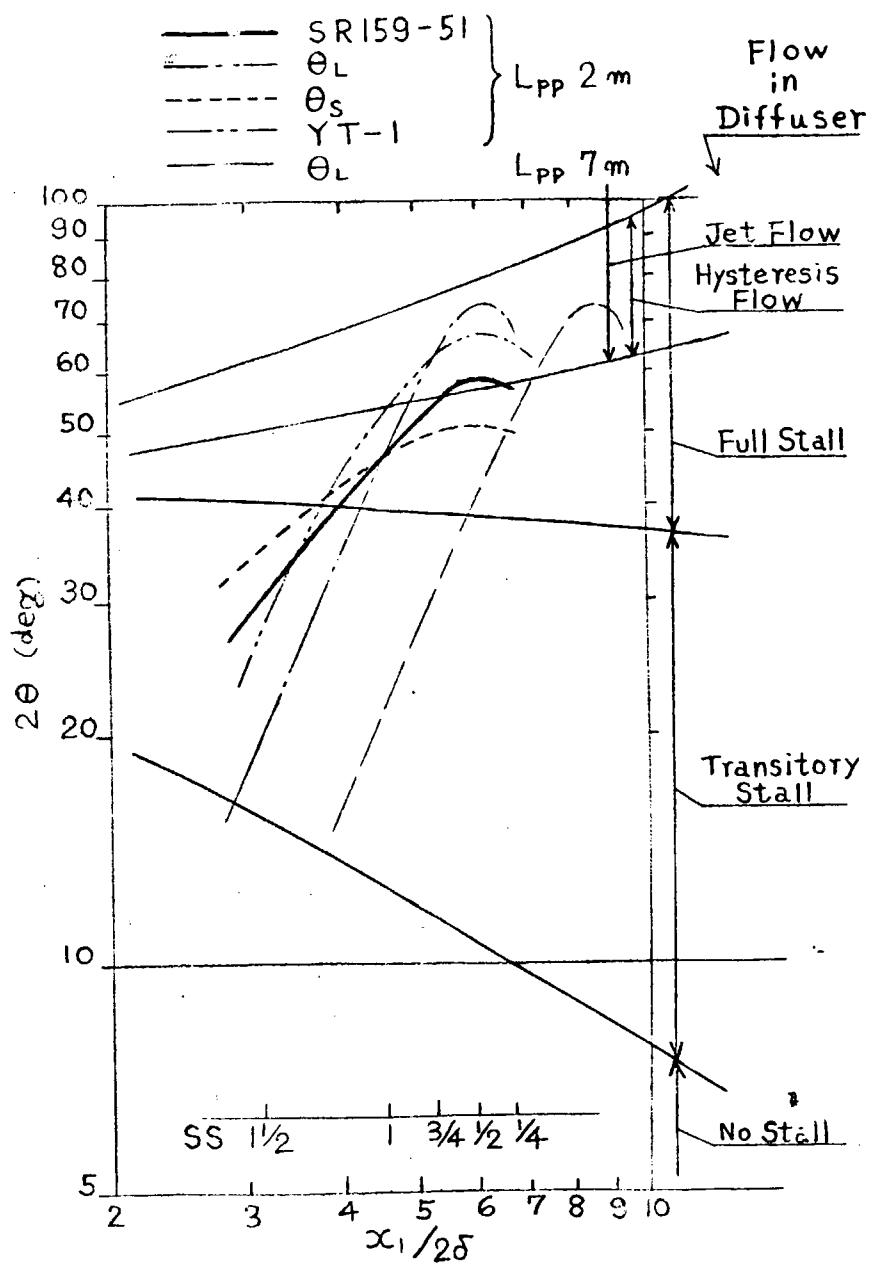


Fig. 4.3.2.1 Run Angle Diagram, δ : Assumed 35mm
at $SS 2\frac{3}{5}$ of L_{pp} 2m Models

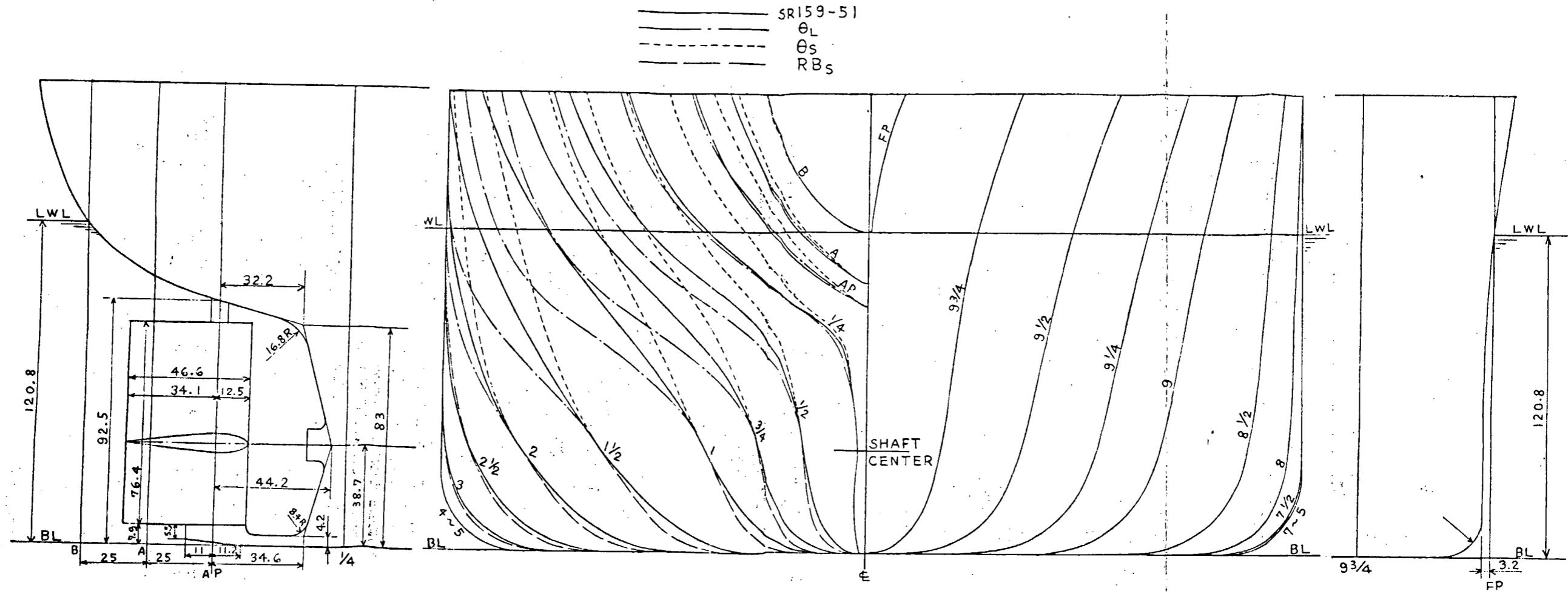
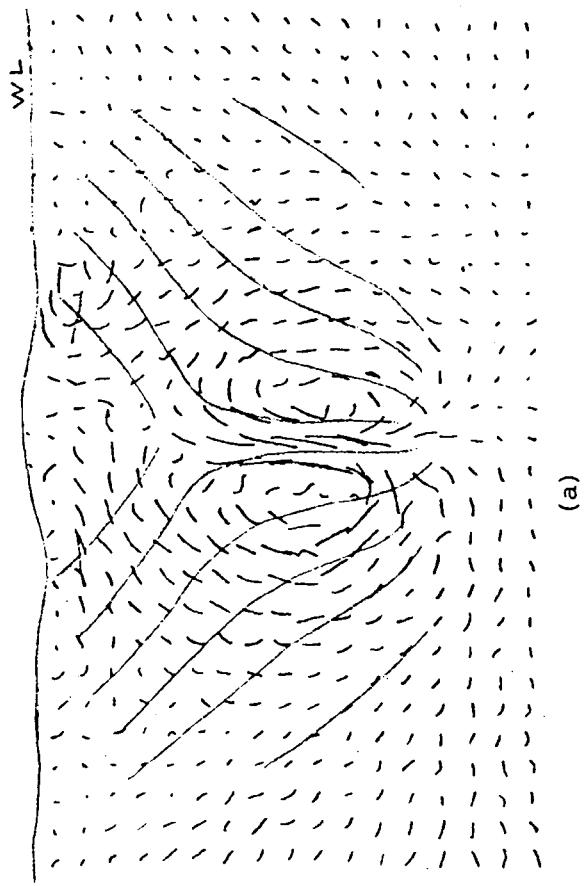
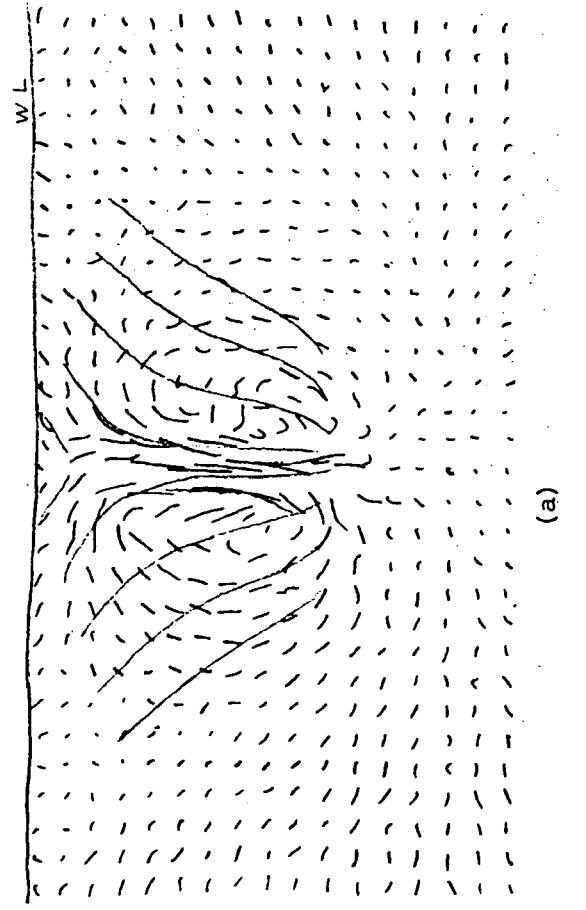


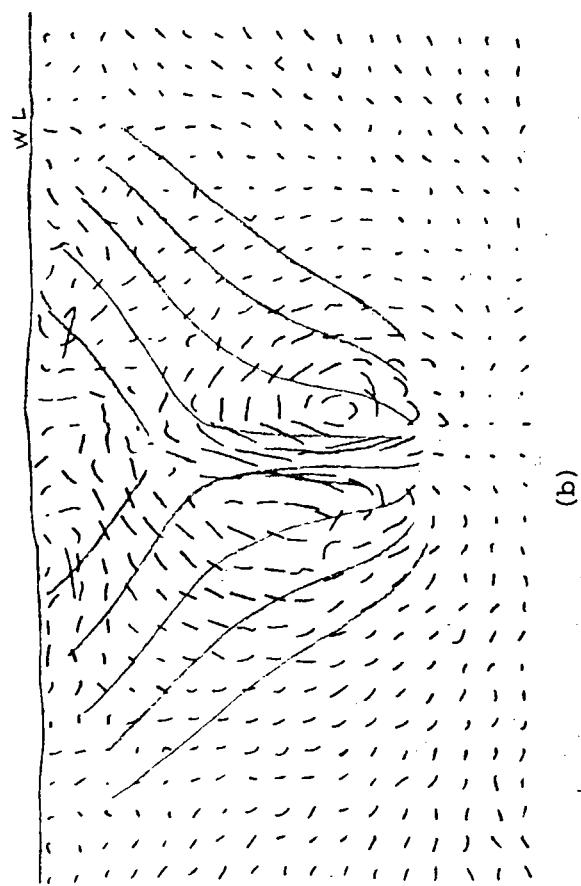
Fig. 4.3.2.2 Lines of Ship Models



(a)



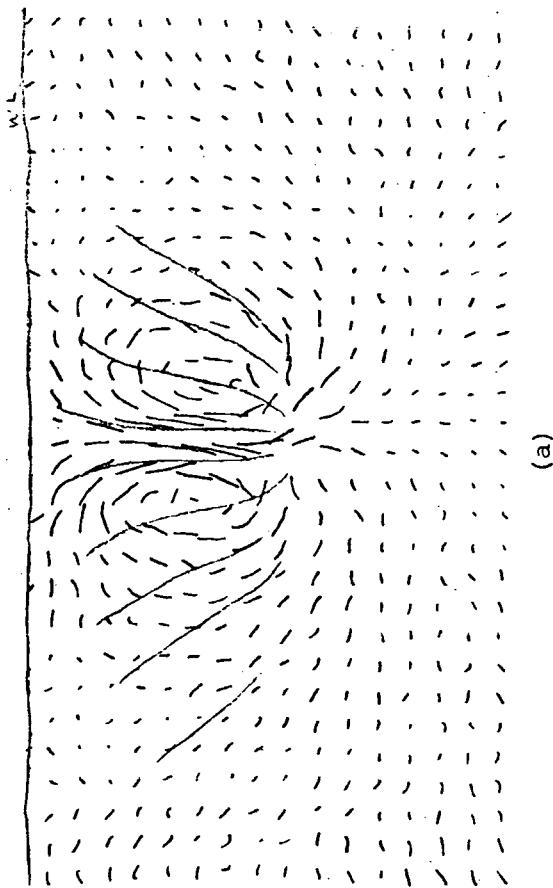
(a)



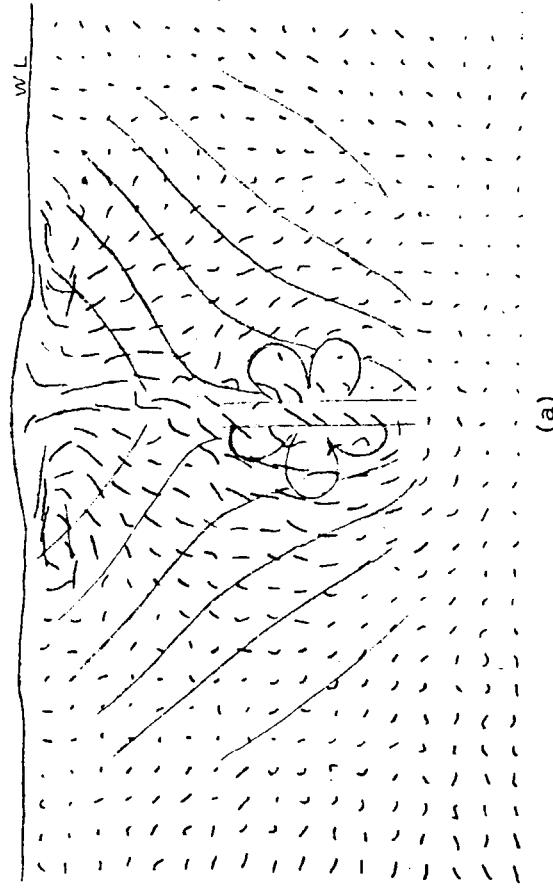
(b)

Fig. 4.3.2.3 Results of Tuft Grid Method, SRI59-51 Model, Full Load, $V = 0.8 \text{ m/s}$ Towed

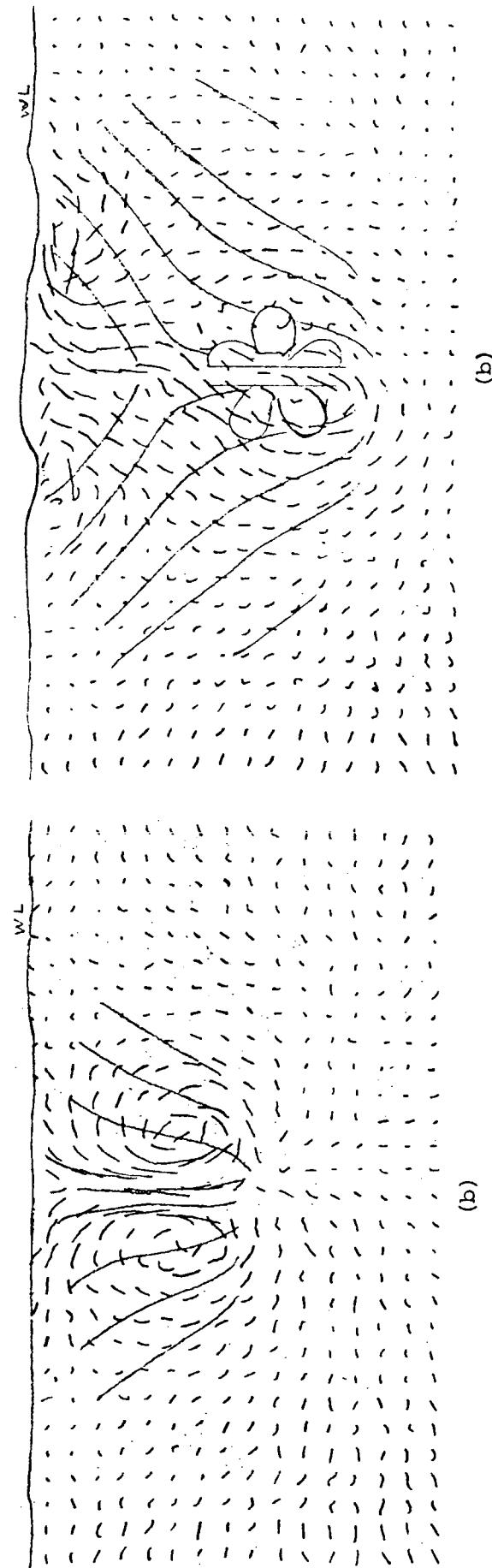
Fig. 4.3.2.4 Results of Tuft Grid Method, SRI59-51 Model, 65% Load, $V = 0.8 \text{ m/s}$ Towed



(a)

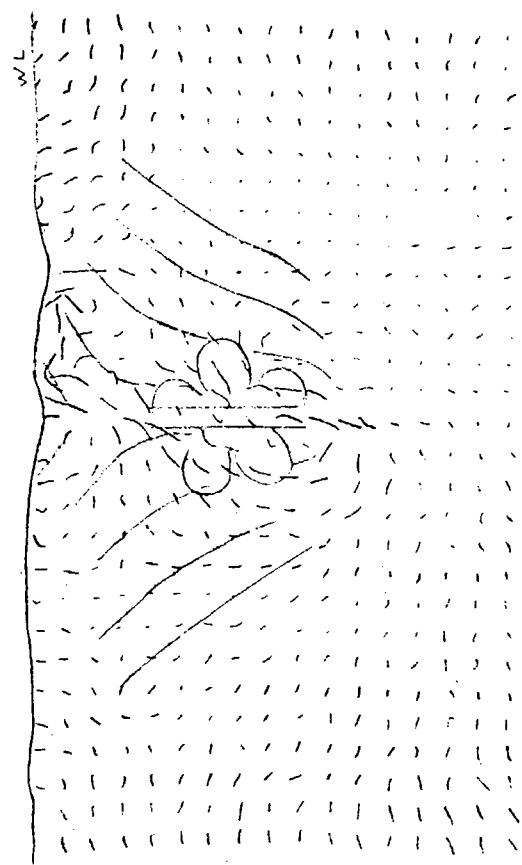


(a)

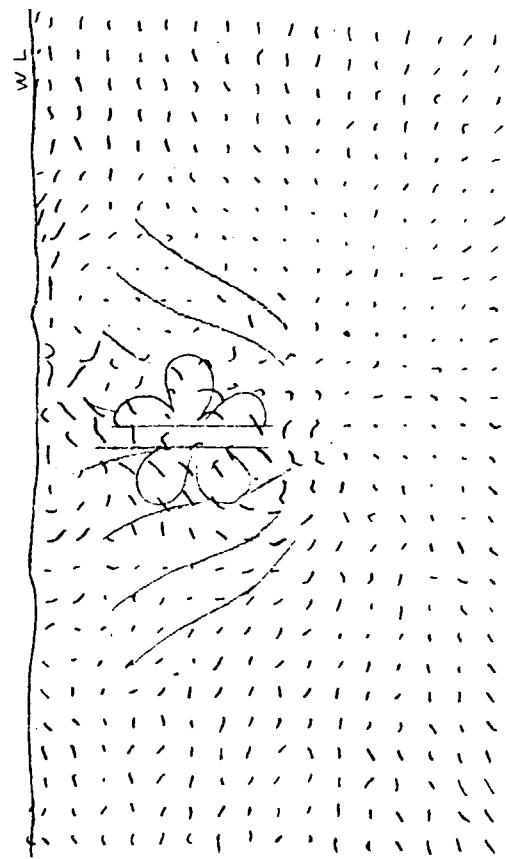


(b)

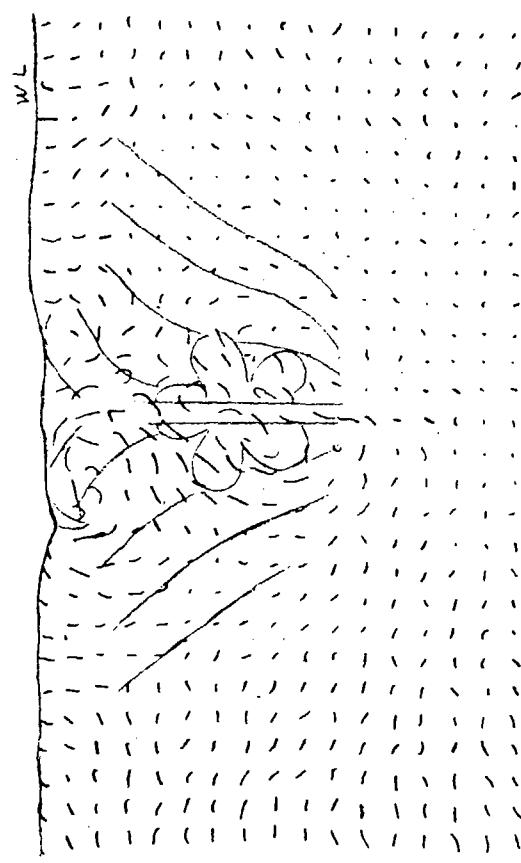
Fig. 4.3.2.5 Results of Tuft Grid Method, SRI59-51 Model, 44% Load, $V = 0.8 \text{ m/s}$ Towed
 Fig. 4.3.2.6 Results of Tuft Grid Method, SRI59-51 Model, Full Load, $V = 0.8 \text{ m/s}$, Self Propelled



(a) Smaller Value of Thrust



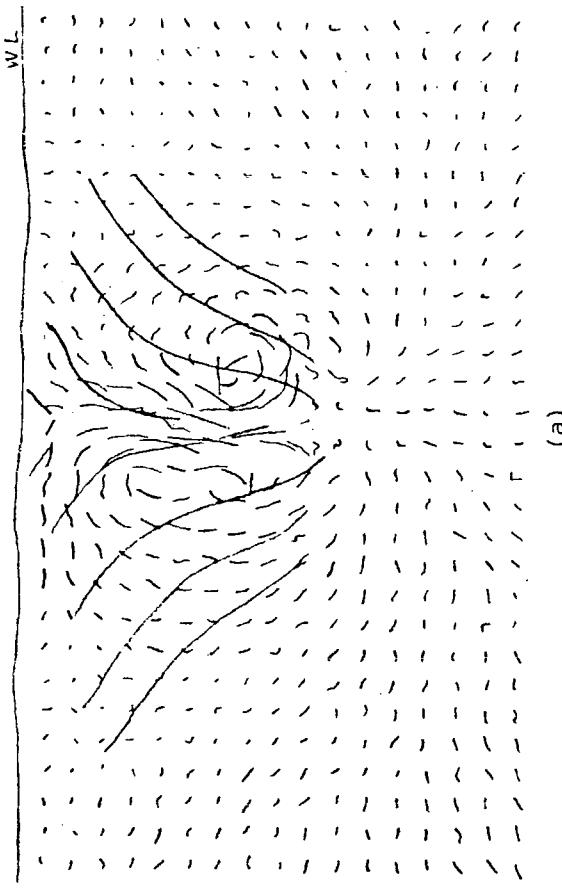
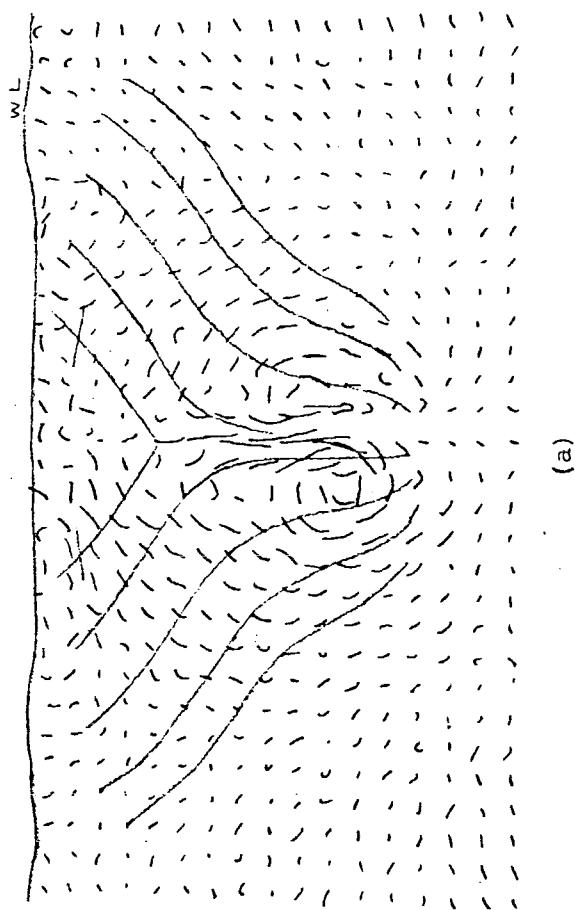
(a)



(b) Larger Value of Thrust

Fig. 4.3.2.7 Results of Tuft Grid Method, SR159-51 Model, 65% Load, $V = 0.8 \text{ m/s}$, Self Propelled

Fig. 4.3.2.8 Results of Tuft Grid Method, SR159-51 Model, 44% Load, $V = 0.8 \text{ m/s}$, Self Propelled



- 116 -

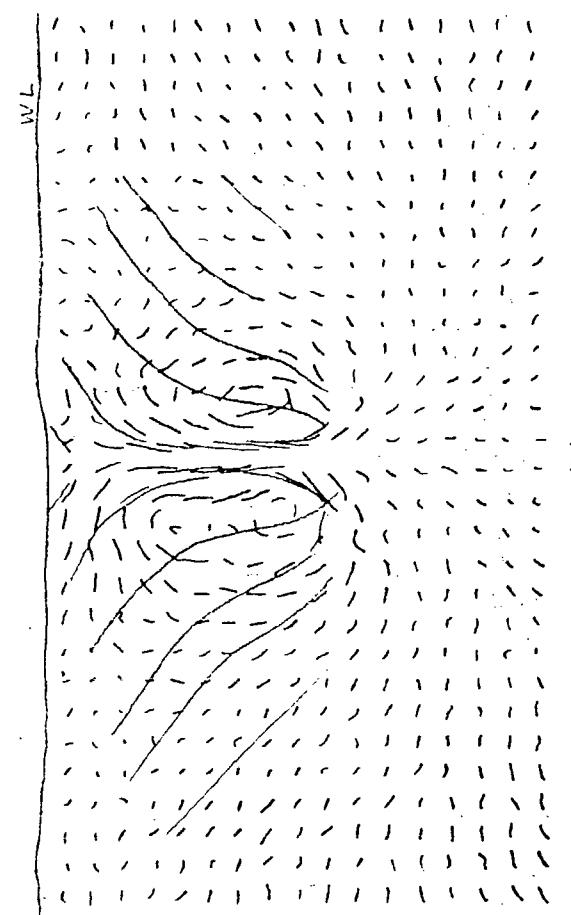
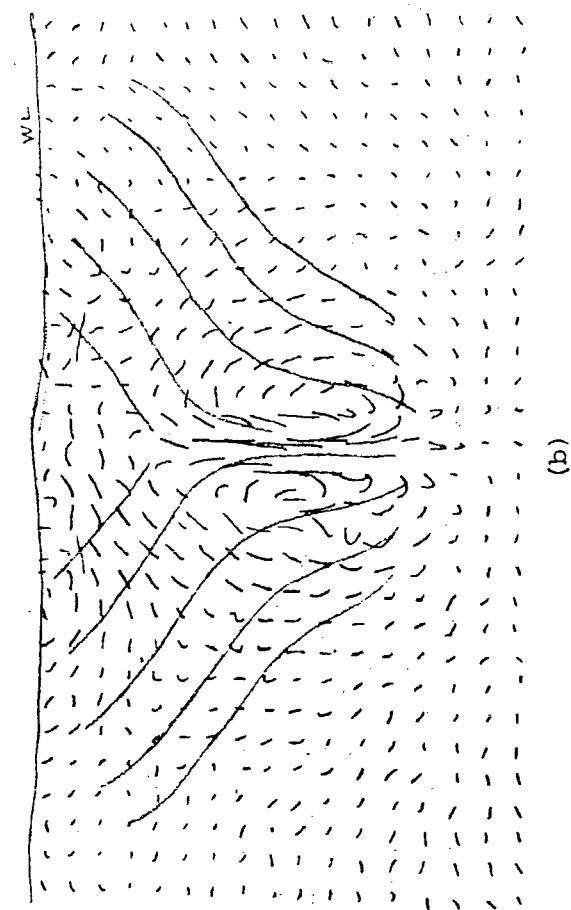
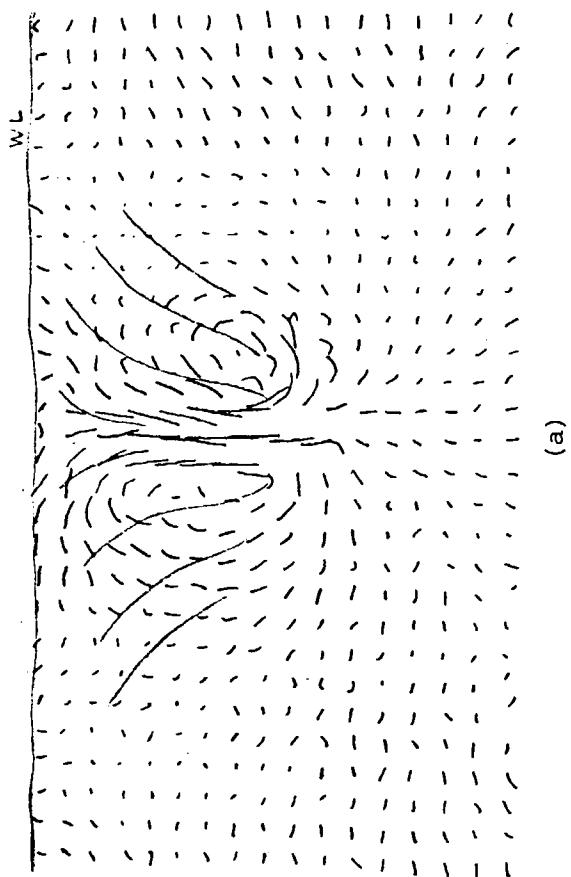
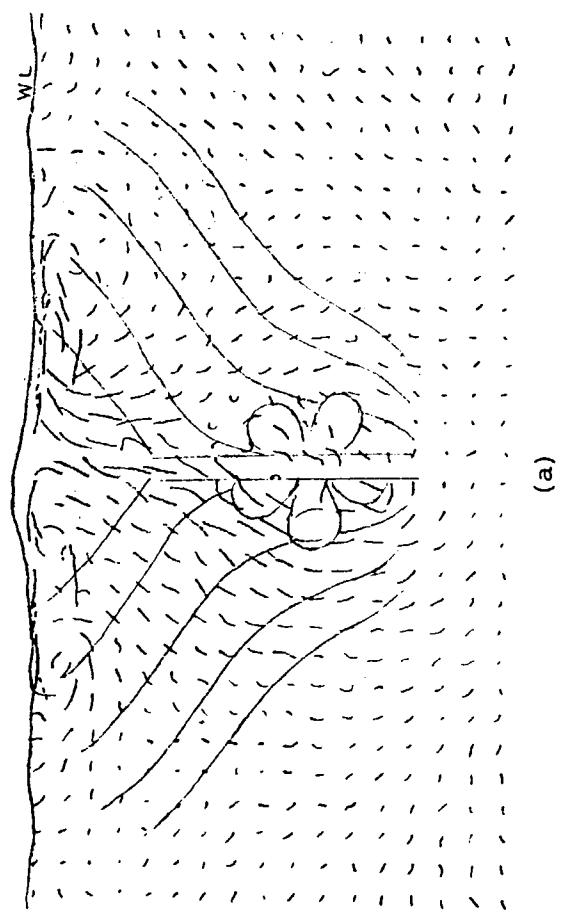


Fig. 4.3.2.9 Results of Tuft Grid Method, θ_L Model,
Full Load, $V = 0.8 \text{ m/s}$, Towed

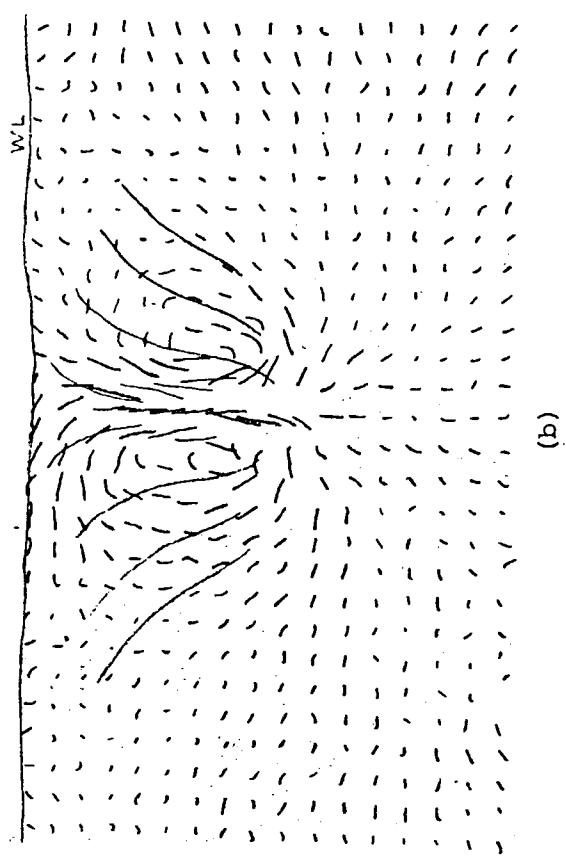
Fig. 4.3.2.10 Results of Tuft Grid Method, θ_L Model,
65% Load, $V = 0.8 \text{ m/s}$, Towed



(a)



(a)



(b)

Fig. 4.3.2.11 Results of Tuft Grid Method, θ_L Model,
44% Load, $V = 0.8 \text{ m/s}$, Towed

Fig. 4.3.2.12 Results of Tuft Grid Method, θ_L Model,
Full Load, $V = 0.8 \text{ m/s}$, Self Propelled

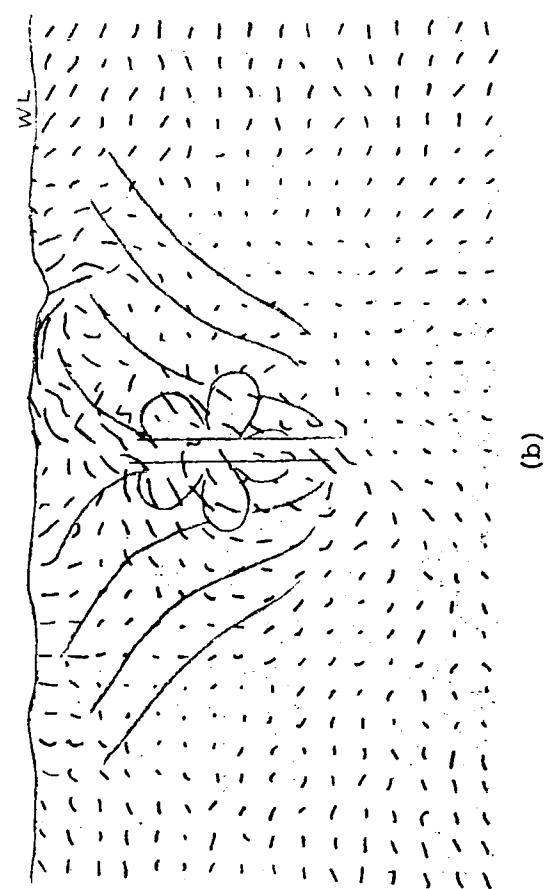
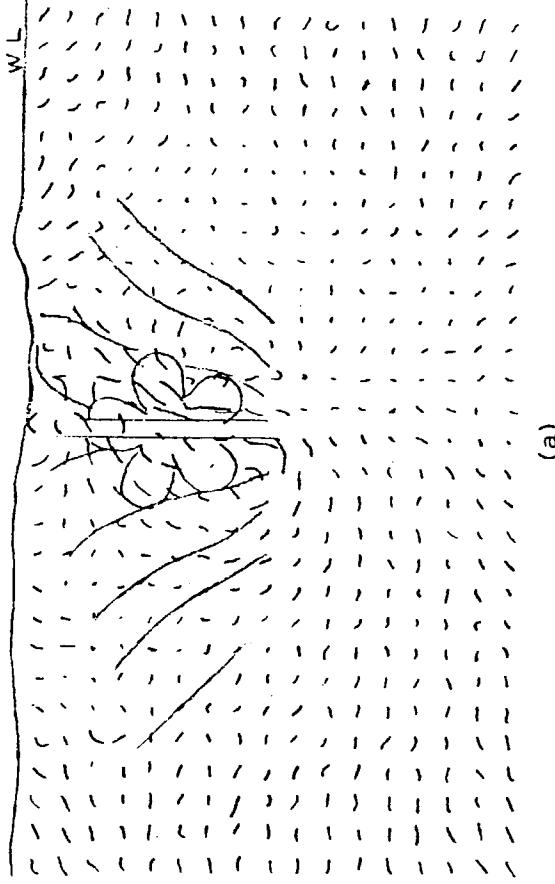
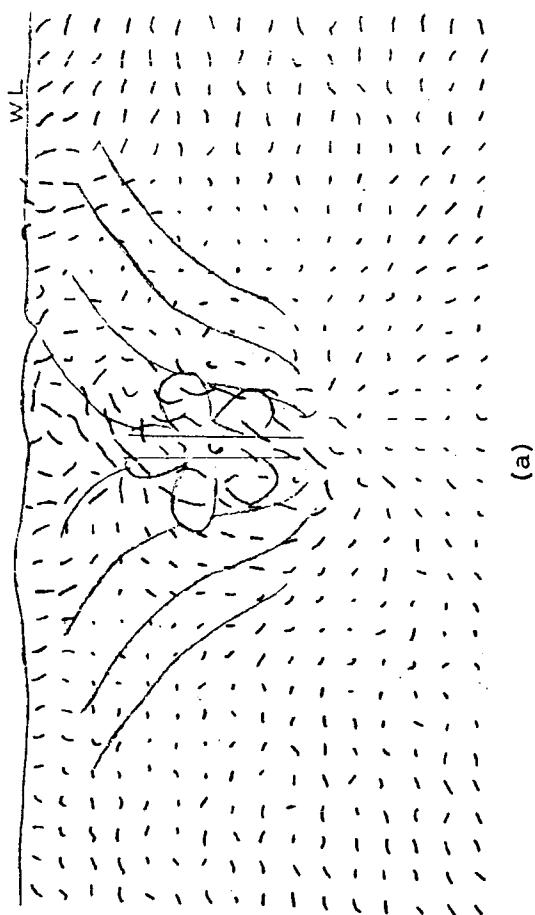
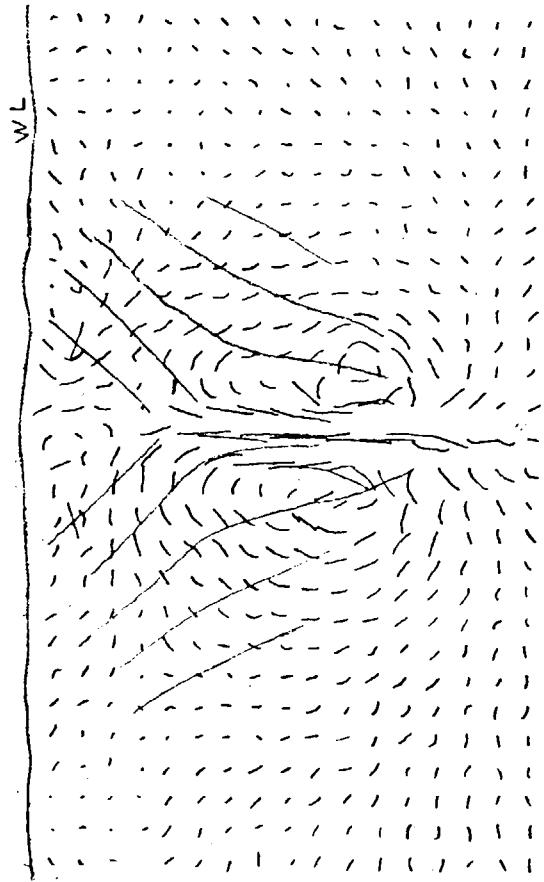
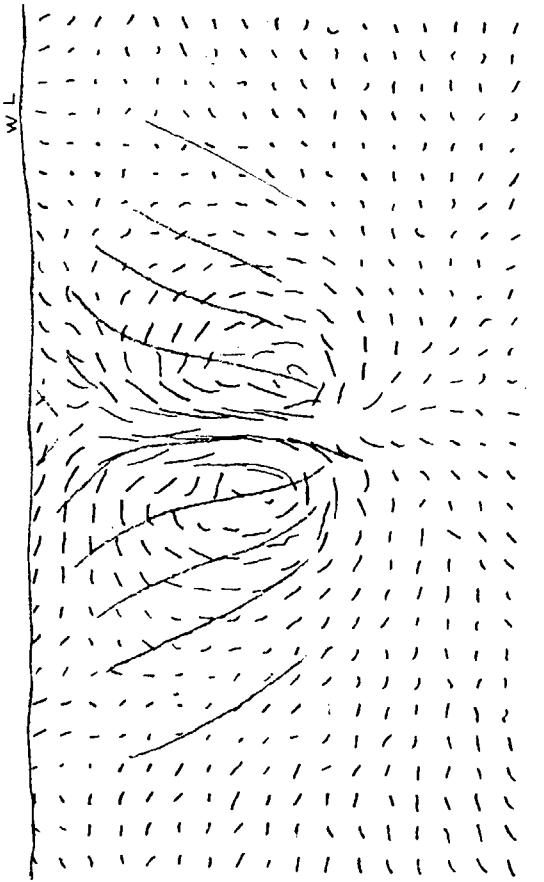


Fig. 4.3.2.13 Results of Tuft Grid Method, θ_L Model,
65% Load, $V = 0.8 \text{ m/s}$, Self Propelled

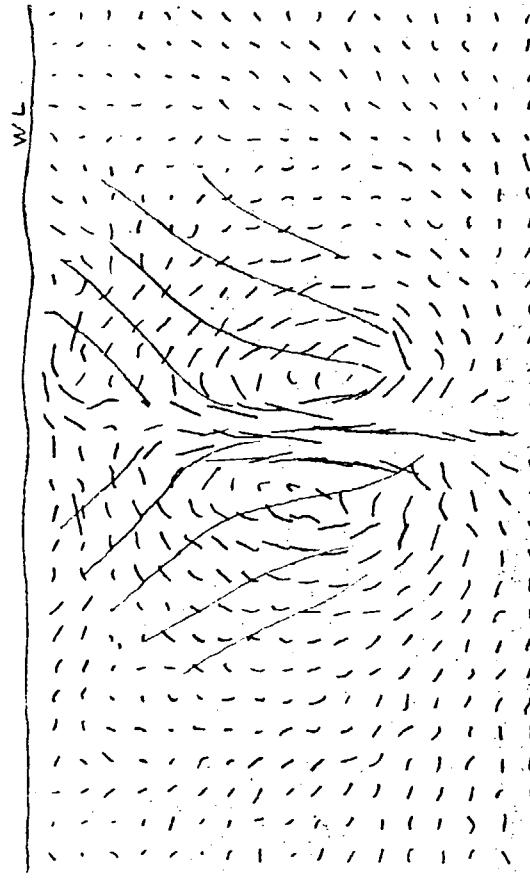
Fig. 4.3.2.14 Results of Tuft Grid Method, θ_L Model,
44% Load, $V = 0.8 \text{ m/s}$, Self Propelled



(a)



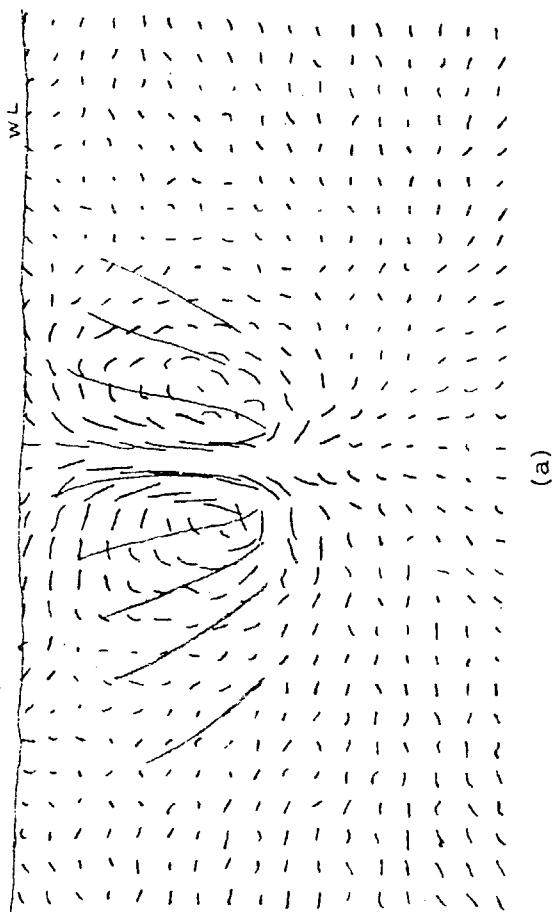
(a)



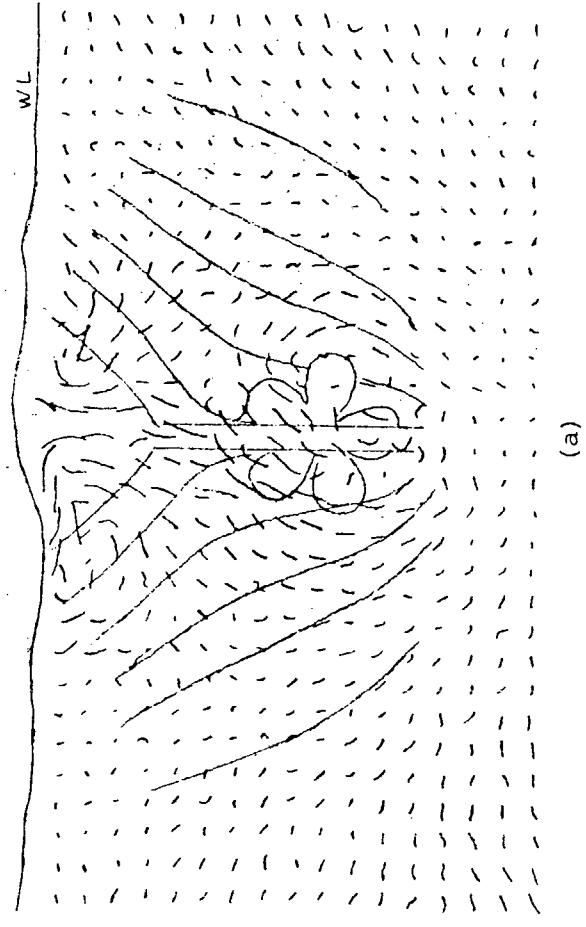
(b)

Fig. 4.3.2.15 Results of Tuft Grid Method, θ_S Model,
Full Load, $V = 0.8 \text{ m/s}$ Towed

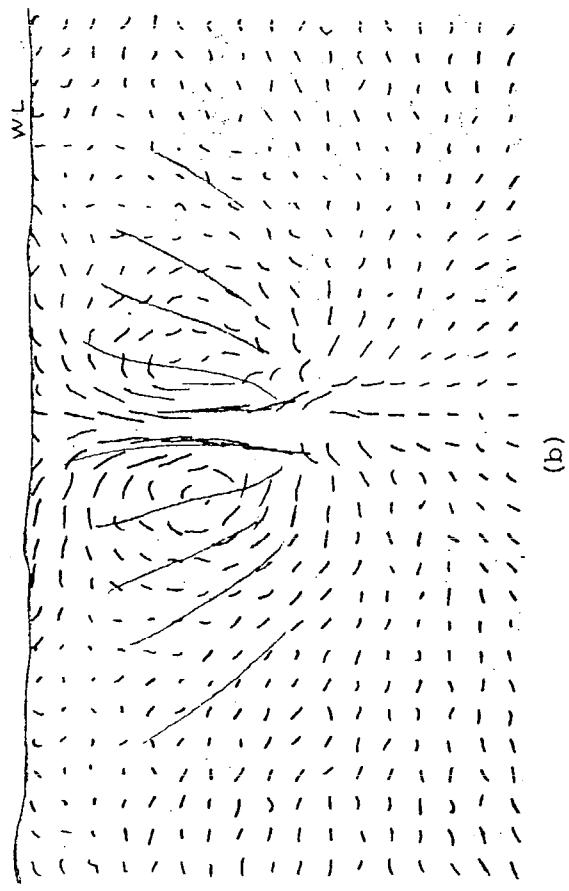
Fig. 4.3.2.16 Results of Tuft Grid Method, θ_S Model,
65% Load, $V = 0.8 \text{ m/s}$, Towed



(a)



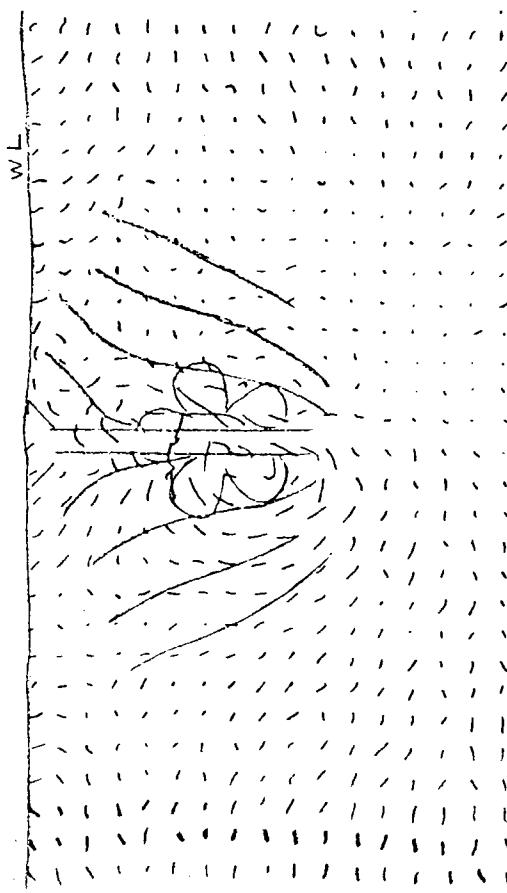
(a)



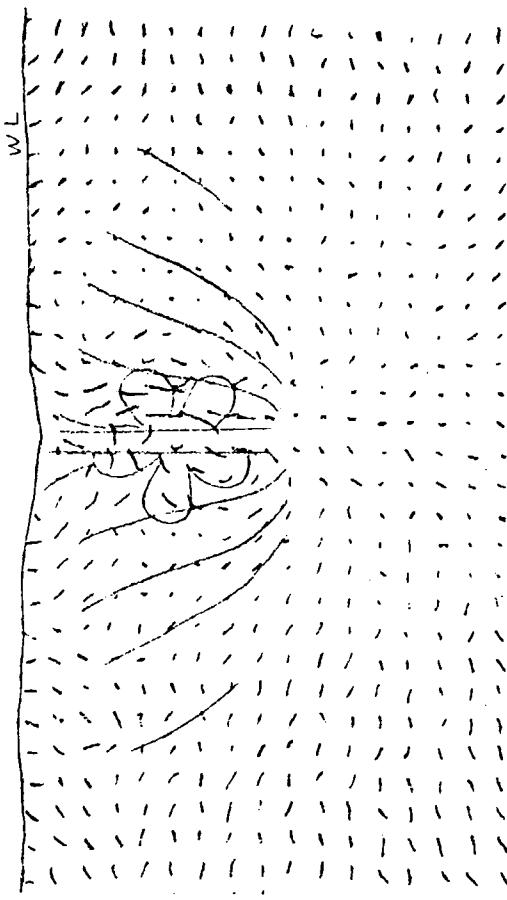
(b)

Fig. 4.3.2.17 Results of Tuft Grid Method, θ_S Model,
44% Load, $V = 0.8 \text{ m/s}$, Towed

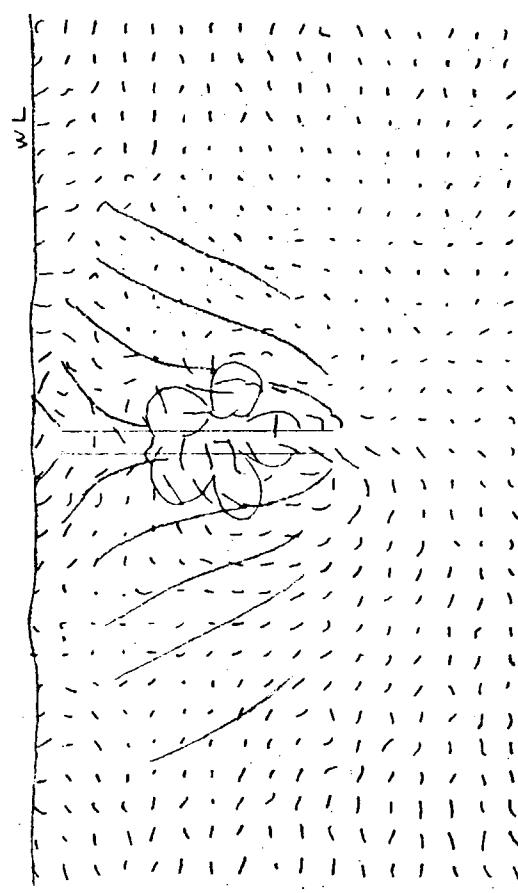
Fig. 4.3.2.18 Results of Tuft Grid Method, θ_S Model,
Full Load, $V = 0.8 \text{ m/s}$, Self Propelled



(a)



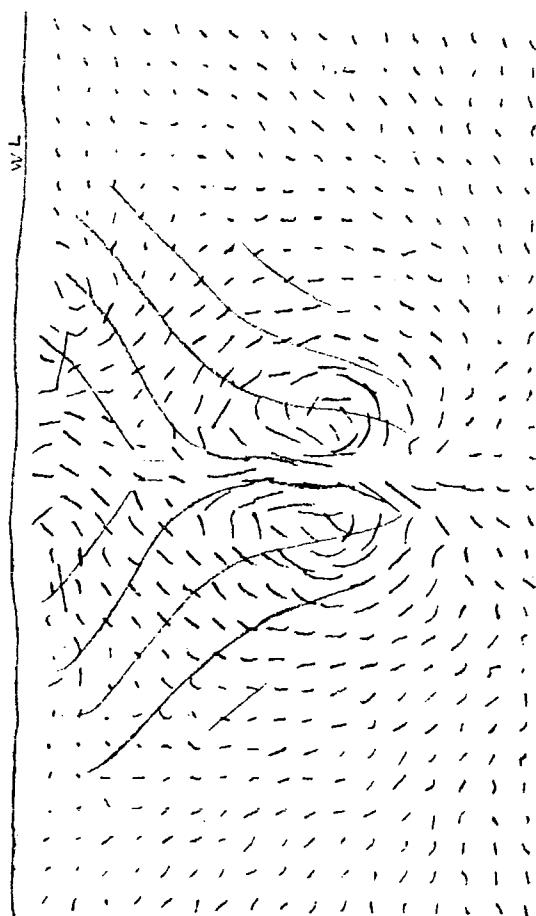
(a)



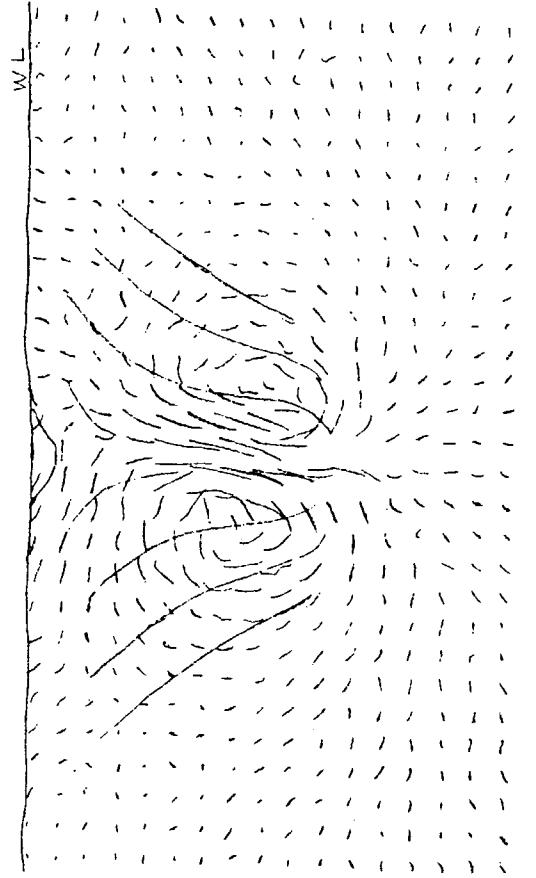
(b)

Fig. 4.3.2.19 Results of Tuft Grid Method, θ_S Model,
65% Load, $V = 0.8 \text{ m/s}$, Self Propelled

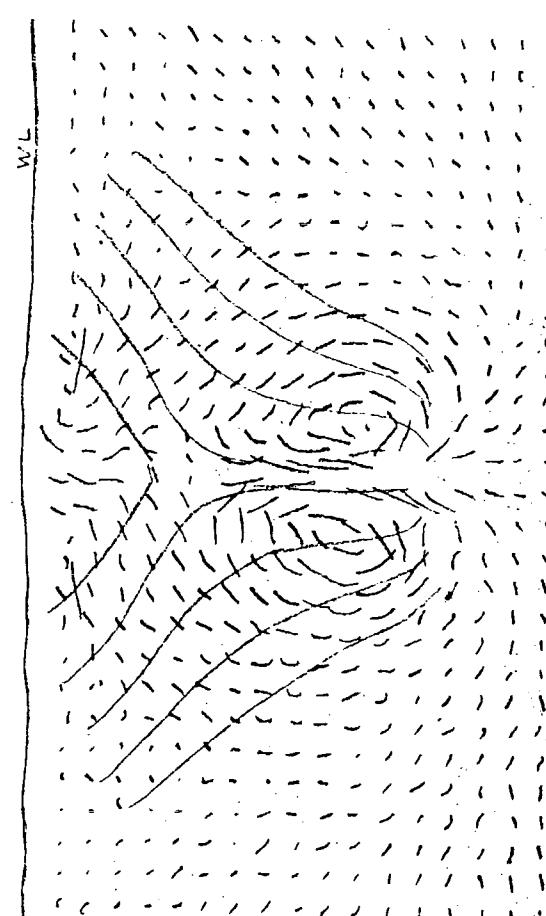
Fig. 4.3.2.20 Results of Tuft Grid Method, θ_S Model,
44% Load, $V = 0.8 \text{ m/s}$, Self Propelled



(a)



(a)

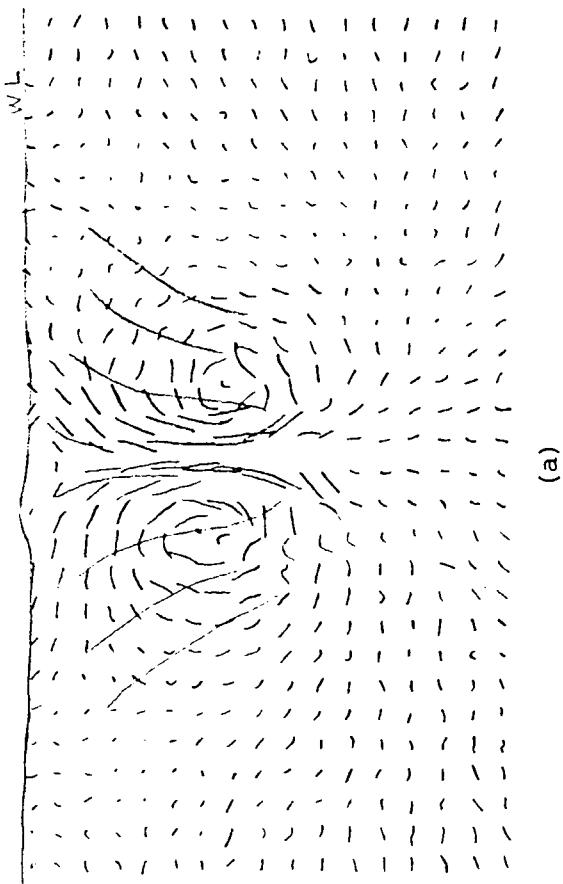


(b)

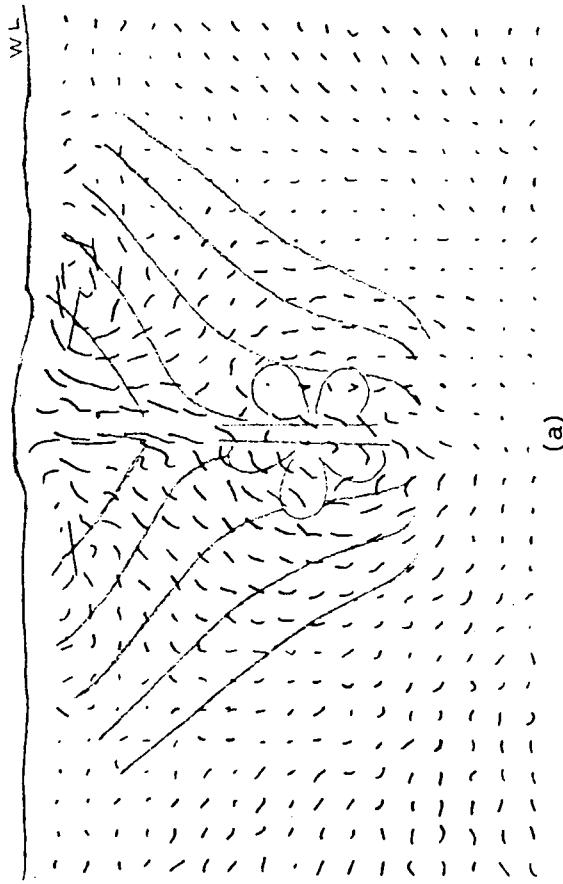
-122-

Fig. 4.3.2.21 Results of Tuft Grid Method, RBS Model,
Full Load, $V = 0.8 \text{ m/s}$, Towed

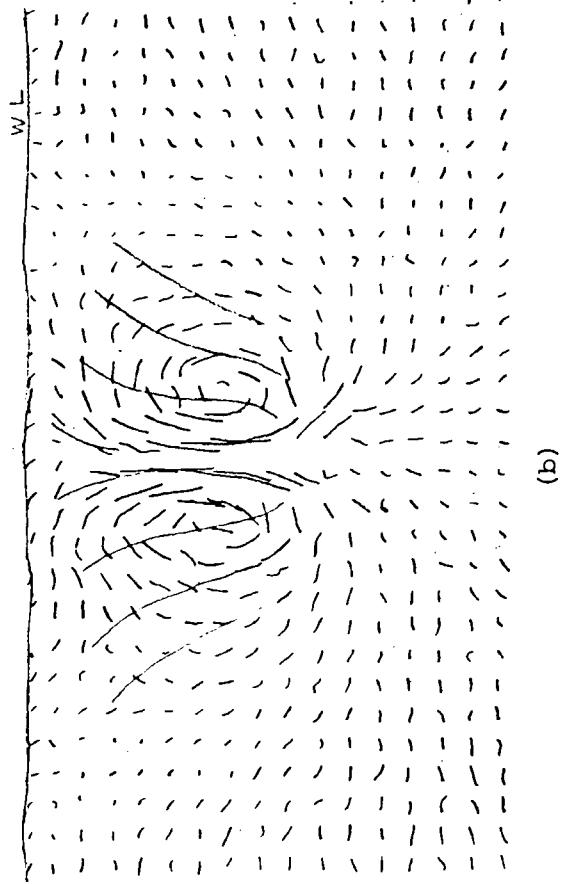
Fig. 4.3.2.22 Results of Tuft Grid Method, RBS Model,
65% Load, $V = 0.8 \text{ m/s}$, Towed



(a)



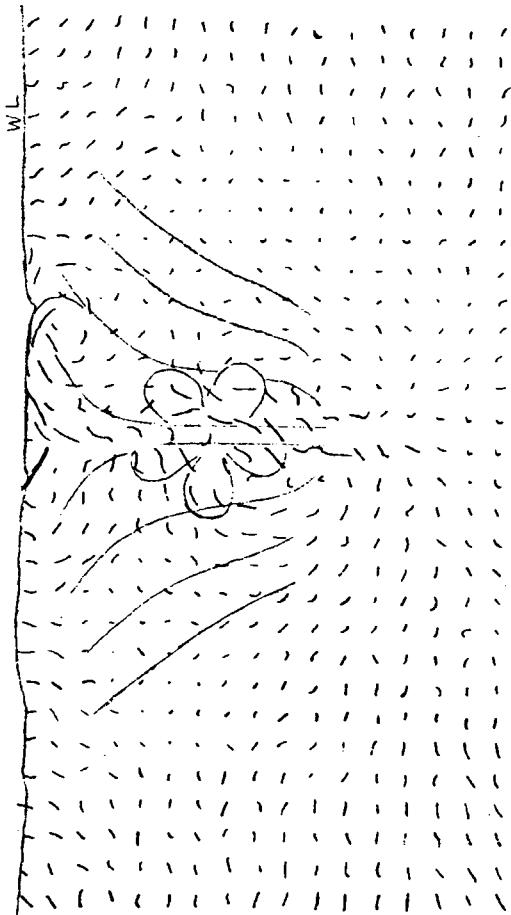
(a)



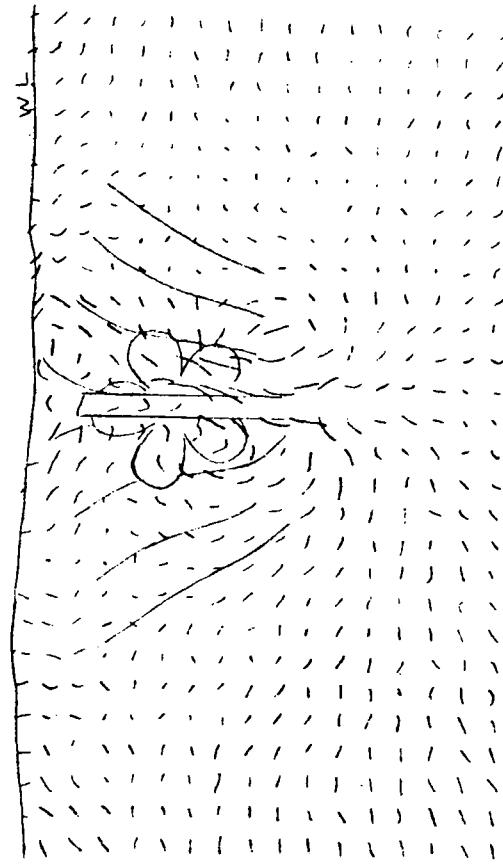
(b)

Fig. 4.3.2.23 Results of Tuft Grid Method, RBS Model,
44% Load, $V = 0.8 \text{ m/s}$, Towed

Fig. 4.3.2.24 Results of Tuft Grid Method, RBS Model,
Full Load, $V = 0.8 \text{ m/s}$, Self Propelled



(a)

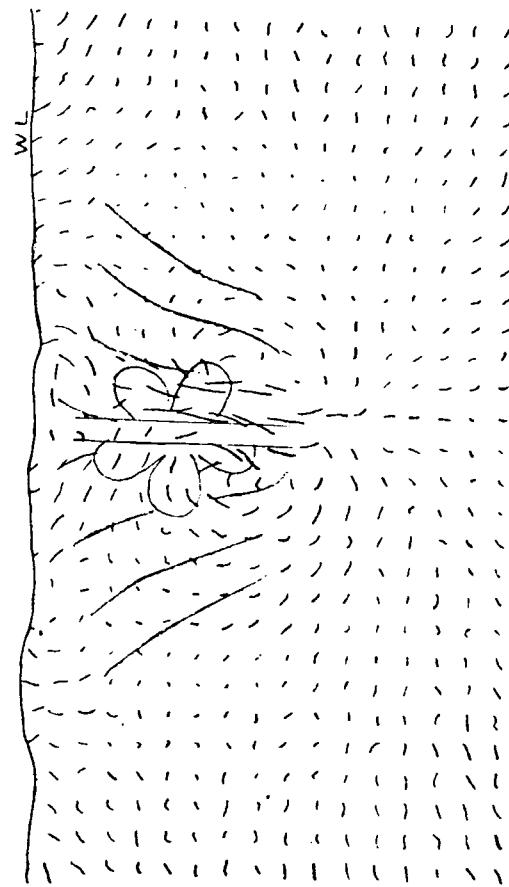


(a)



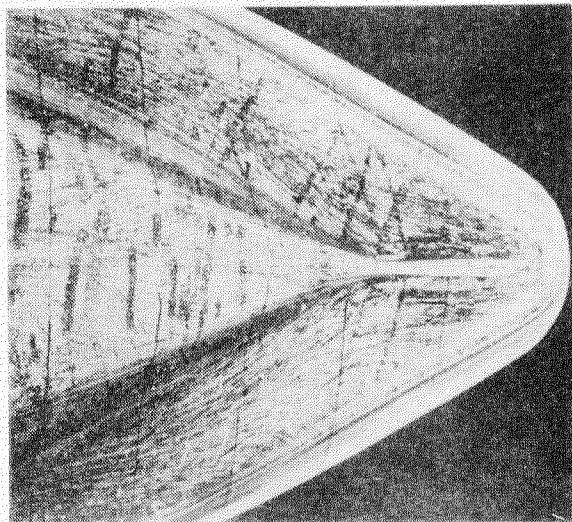
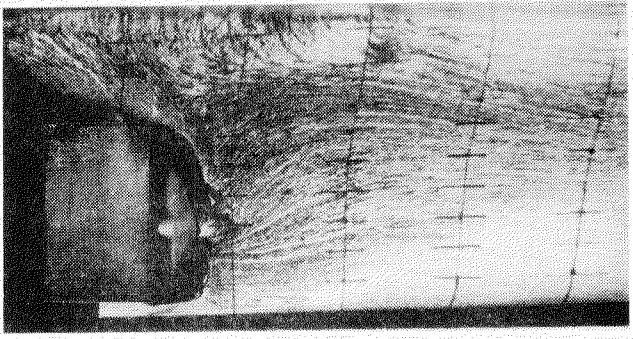
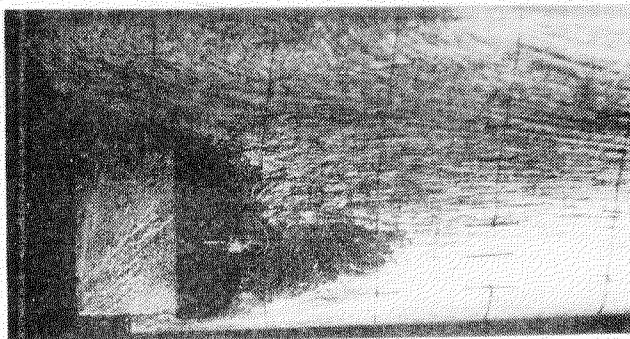
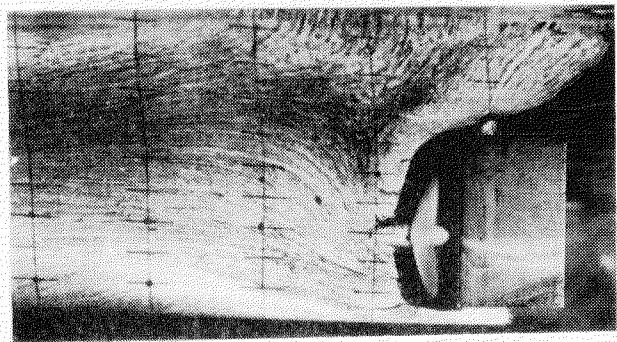
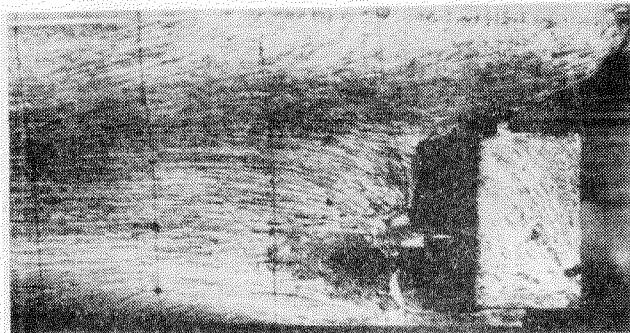
(b)

Fig. 4.3.2.25 Results of Tuft Grid Method, RBS Model,
65% Load, $v = 0.8 \text{ m/s}$, Self Propelled

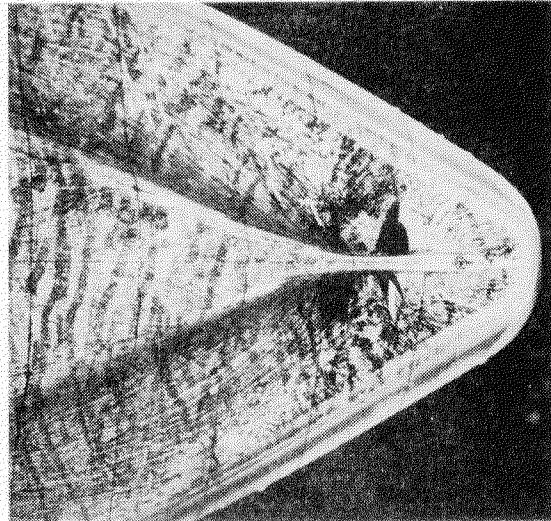


(b)

Fig. 4.3.2.26 Results of Tuft Grid Method, RBS Model,
44% Load, $v = 0.8 \text{ m/s}$, Self Propelled

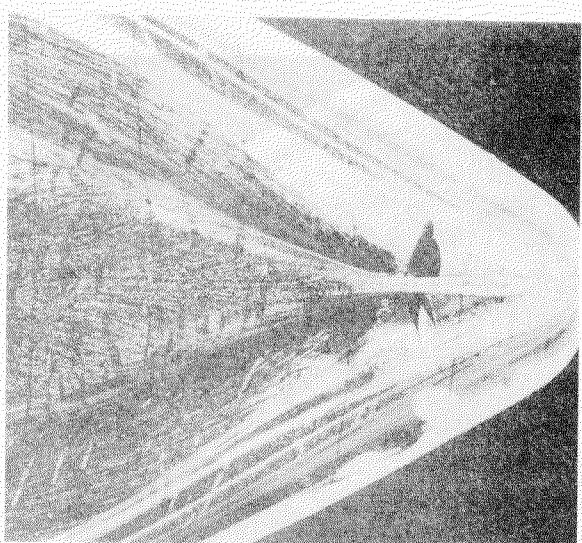
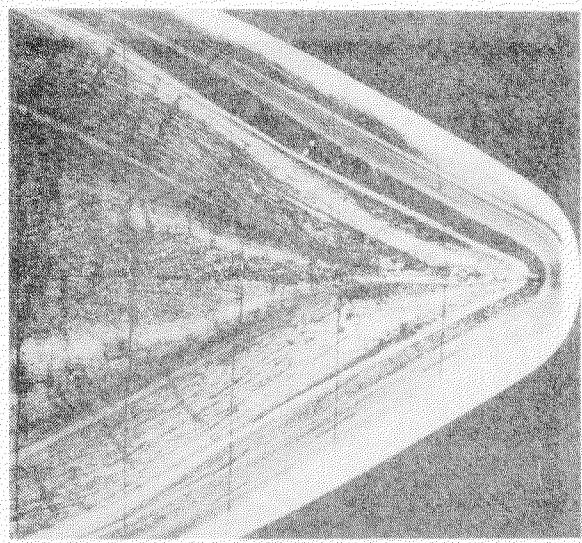
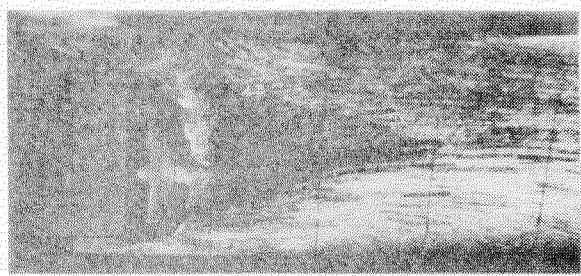
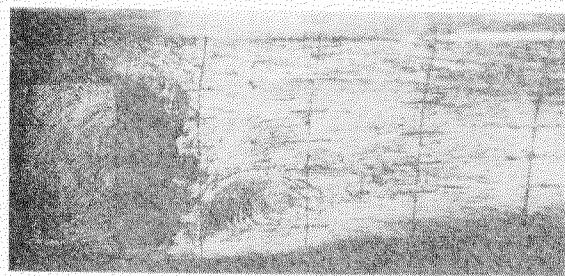
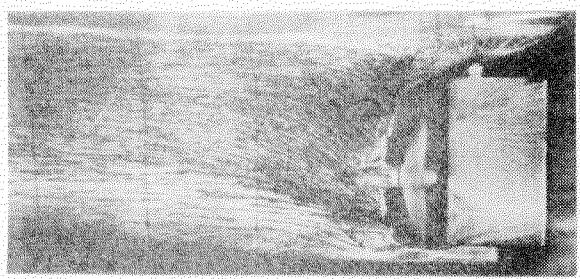
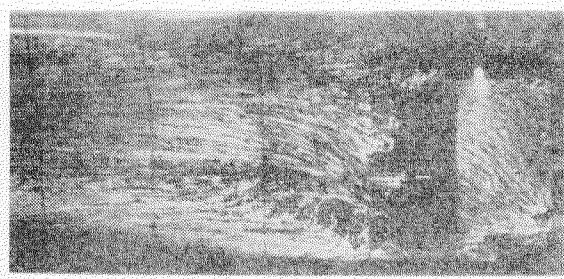


(a) Towed



(b) Self Propelled
(Model Point)

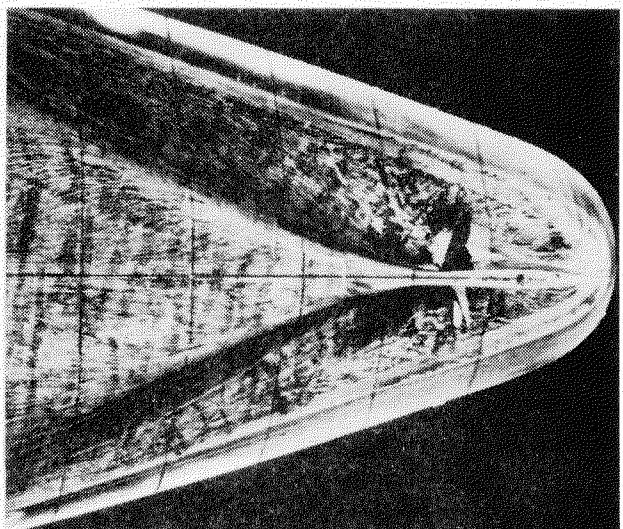
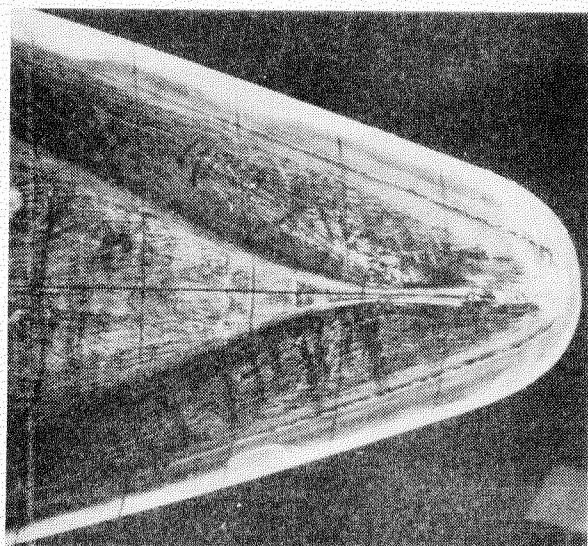
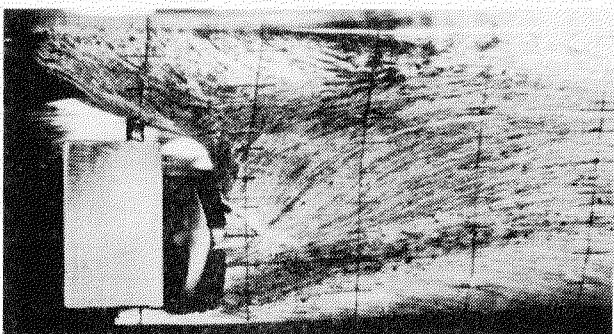
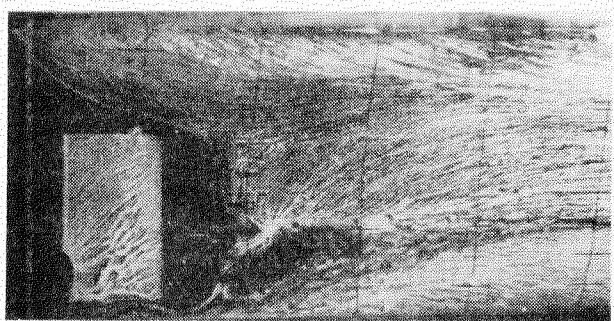
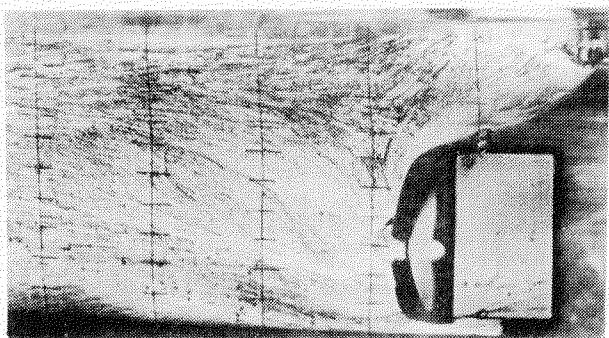
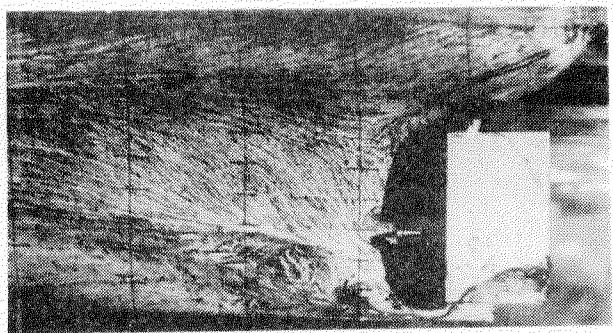
Fig. 4.3.2.27 Results of Oil Film Method, θ_L Model, Full Load



(a) Towed

(b) Self Propelled
(Model Point)

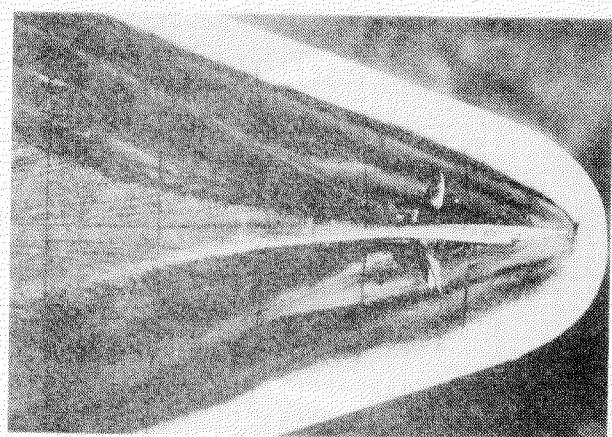
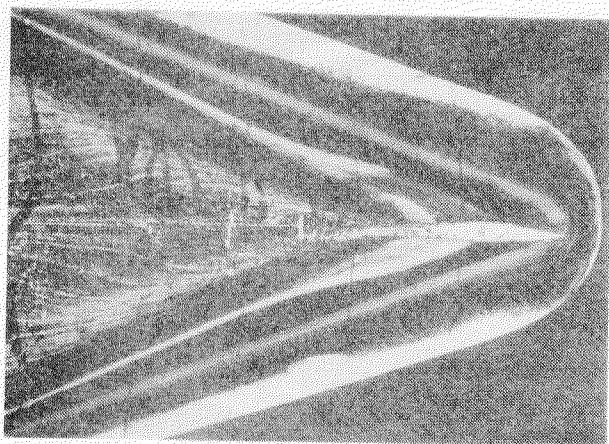
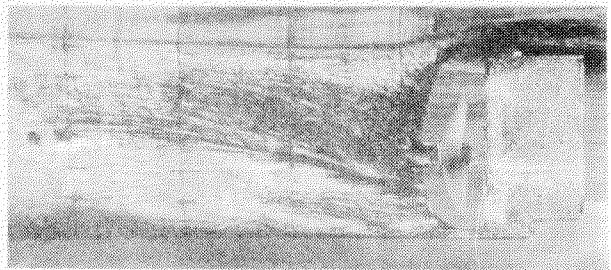
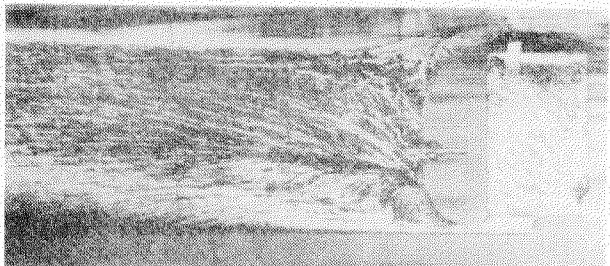
Fig. 4.3.2.28 Results of Oil Film Method, θ_L Model, 65% Load



(a) Towed

(b) Self Propelled
(Model Point)

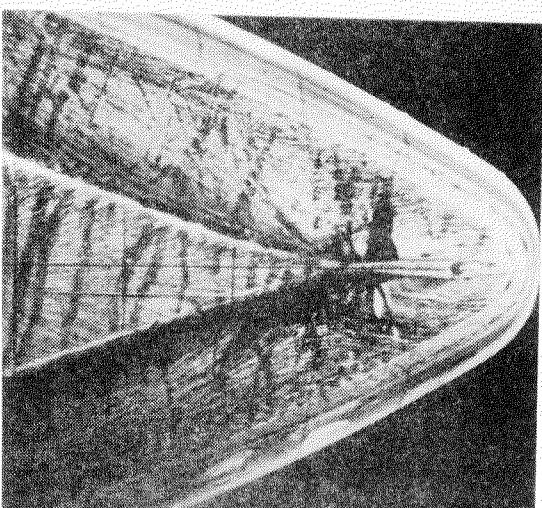
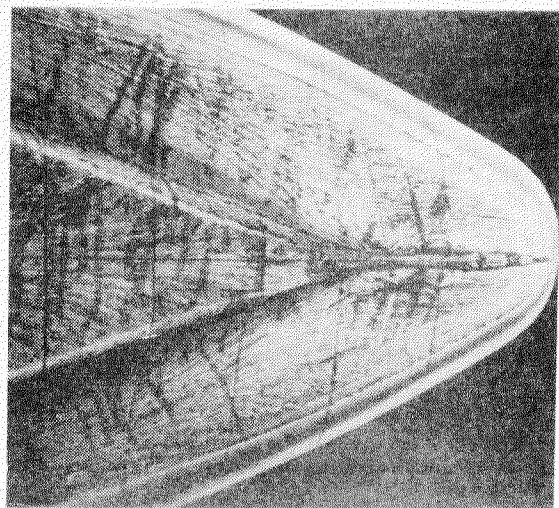
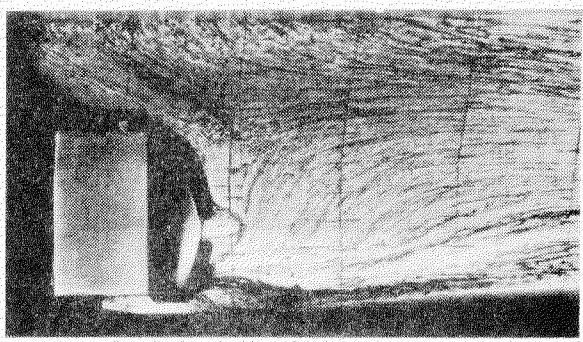
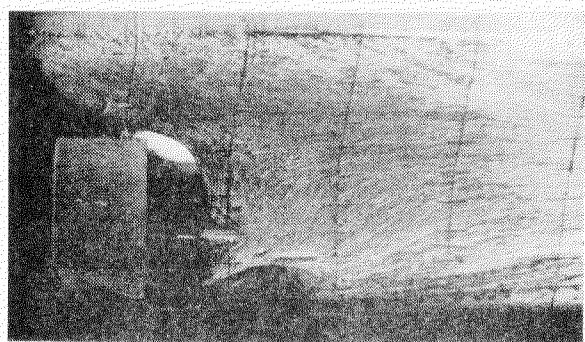
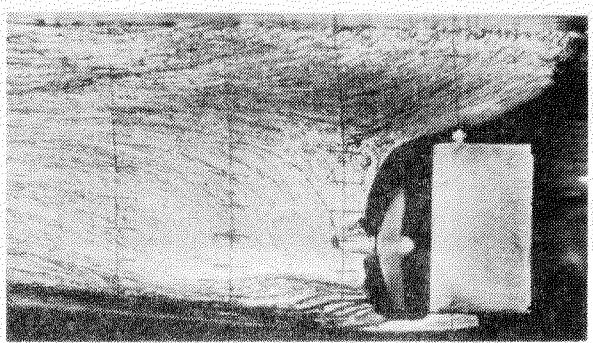
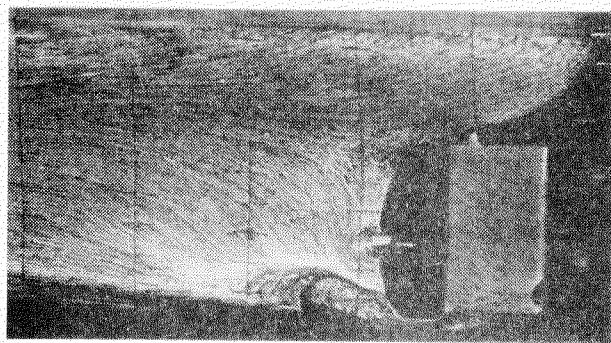
Fig. 4.3.2.29 Results of Oil Film Method, θ_S Model, Full Load



(a) Towed

(b) Self Propelled
(Model Point)

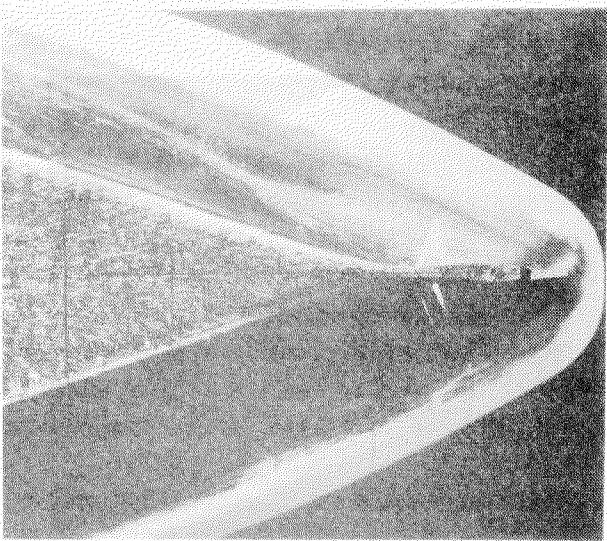
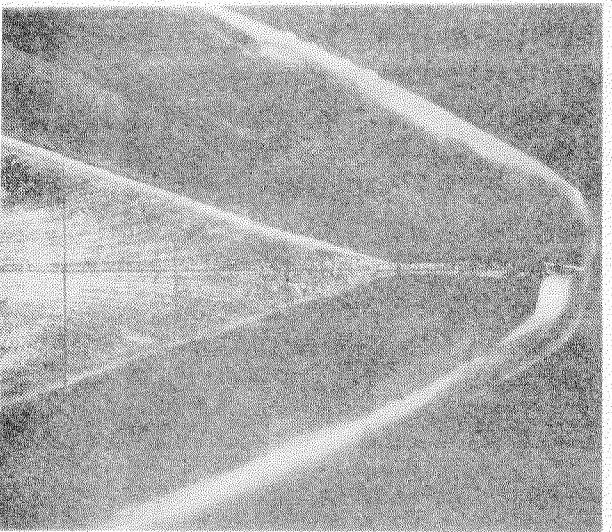
Fig. 4.3.2.30 Results of Oil Film Method, 0.5 Model, 65% Load



(a) Towed

(b) Self Propelled
(Model Point)

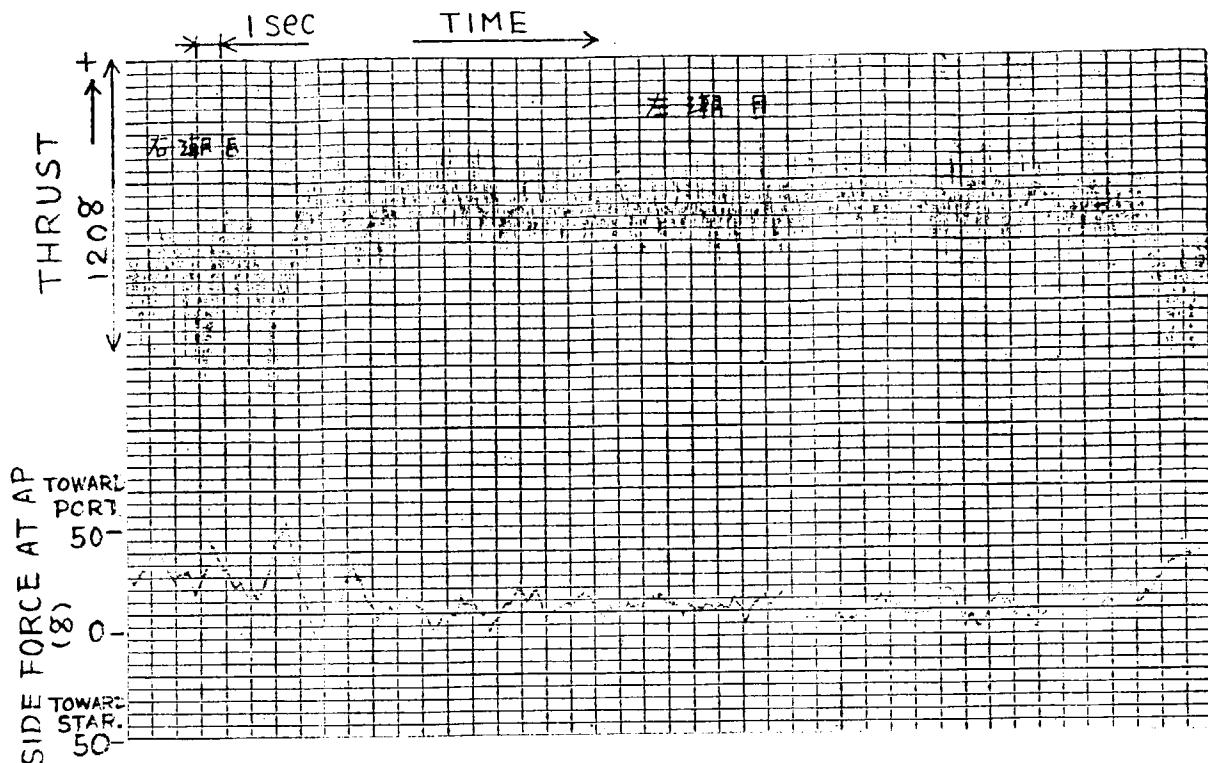
Fig. 4.3.2.31 Results of Oil Film Method, RBs Model, Full Load



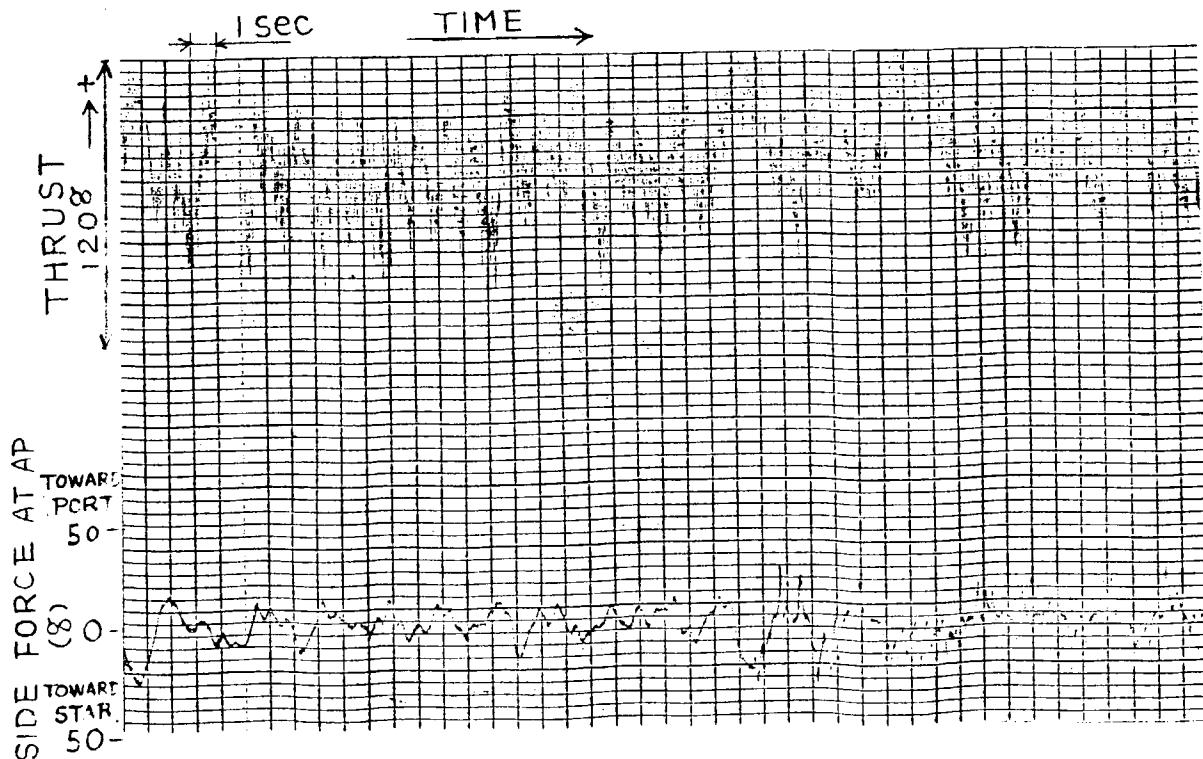
(a) Towed

(b) Self Propelled
(model Point)

Fig. 4.3.2.32 Results of Oil Film Method, RBs Model, 65% Load

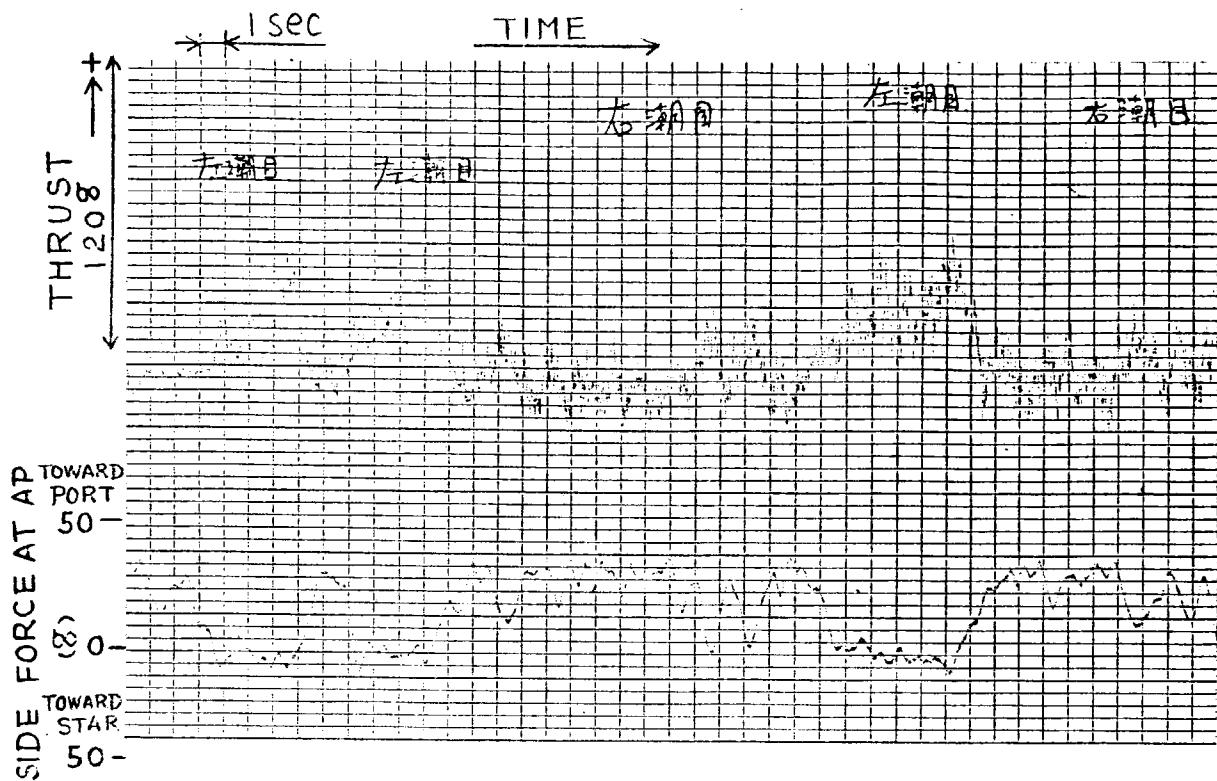


(a) Propeller Rev. 27 rps, Yaw-Angle: Starbord 2.0°

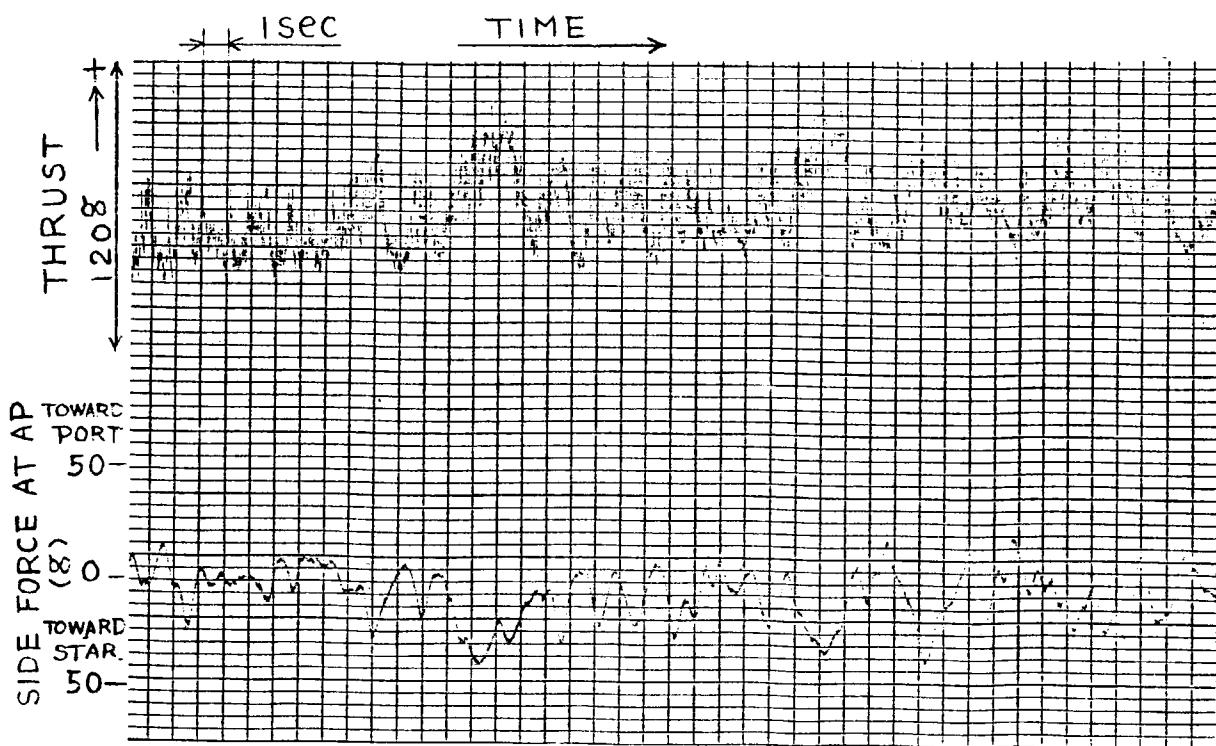


(b) Propeller Rev.: 29 rps, Yaw-Angle: Starbord 2.0°

Fig. 4.3.2.33 Records of Yawed Test, θ_L Model, 65% Load,
 $V = 0.8 \text{ m/s}$, $WT = 18.8^\circ\text{C}$

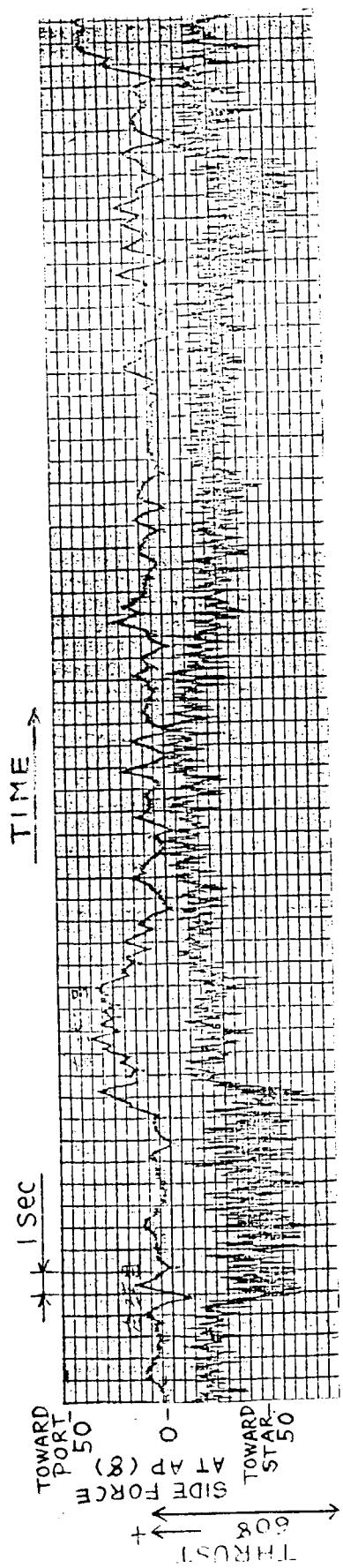


(a) Propeller Rev.: 23 rps



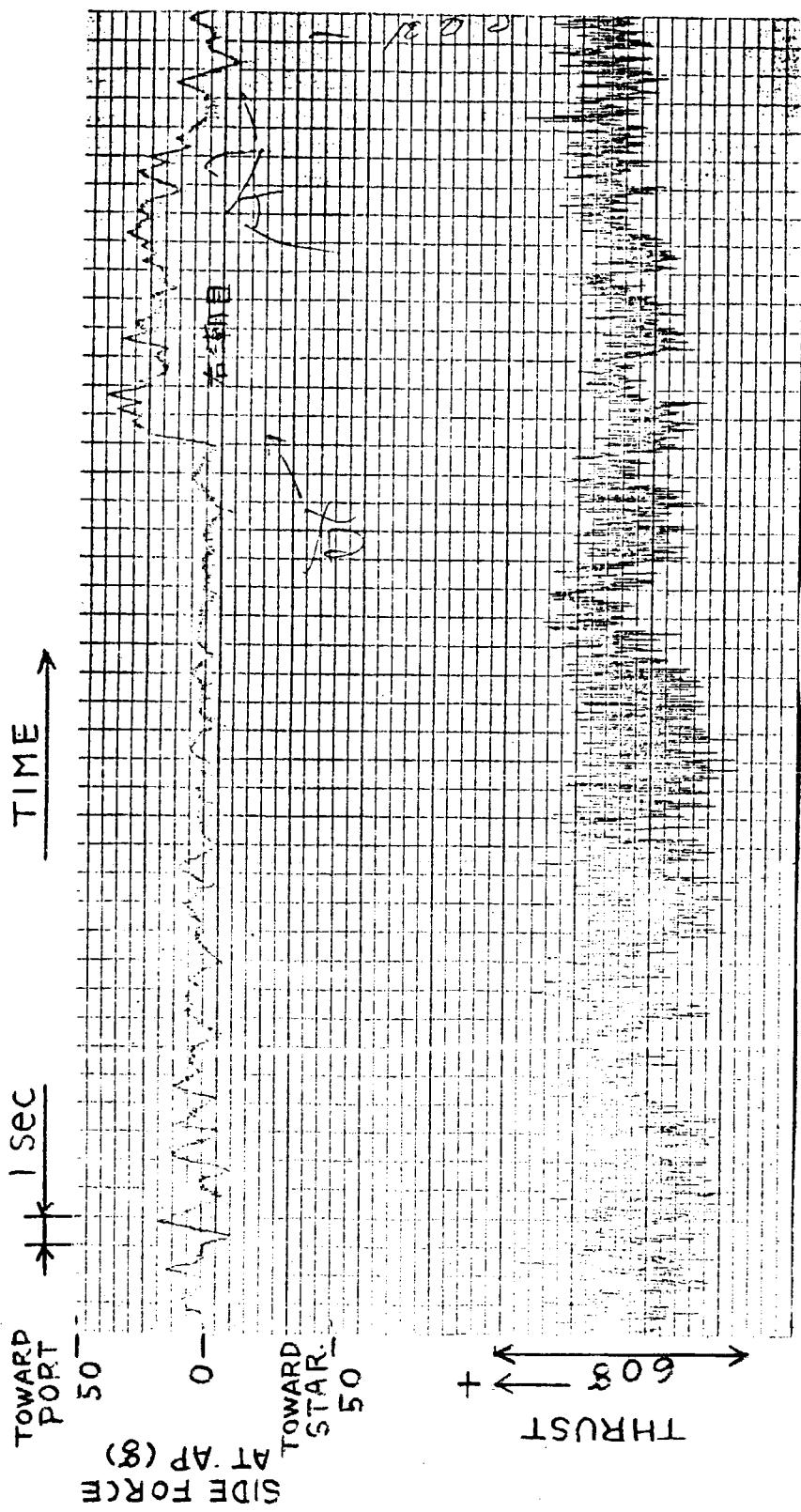
(b) Propeller Rev.: 27 rps

Fig. 4.3.2.34 Records of Small Propeller Test, θ_L Model,
65% Load, Propeller Dia: 53.1 mm, Yaw-Angle: 0° ,
 $V = 0.8 \text{ m/s}$, $WT = 18.8^\circ\text{C}$



(a) Propeller Rev.: 18 rps

Fig. 4.3.2.35 (a) Records of Propeller Load Change Test, RBS Model,
65% Load, Yaw-Angle: 0° , $V = 0.8 \text{ m/s}$



(b) Propeller Rev. : 20 rps

Fig. 4.3.2.35 (b) Records of Propeller Load Change Test, RBS Model,
65% Load, Yaw-Angle: 0° , $V = 0.8 \text{ m/s}$

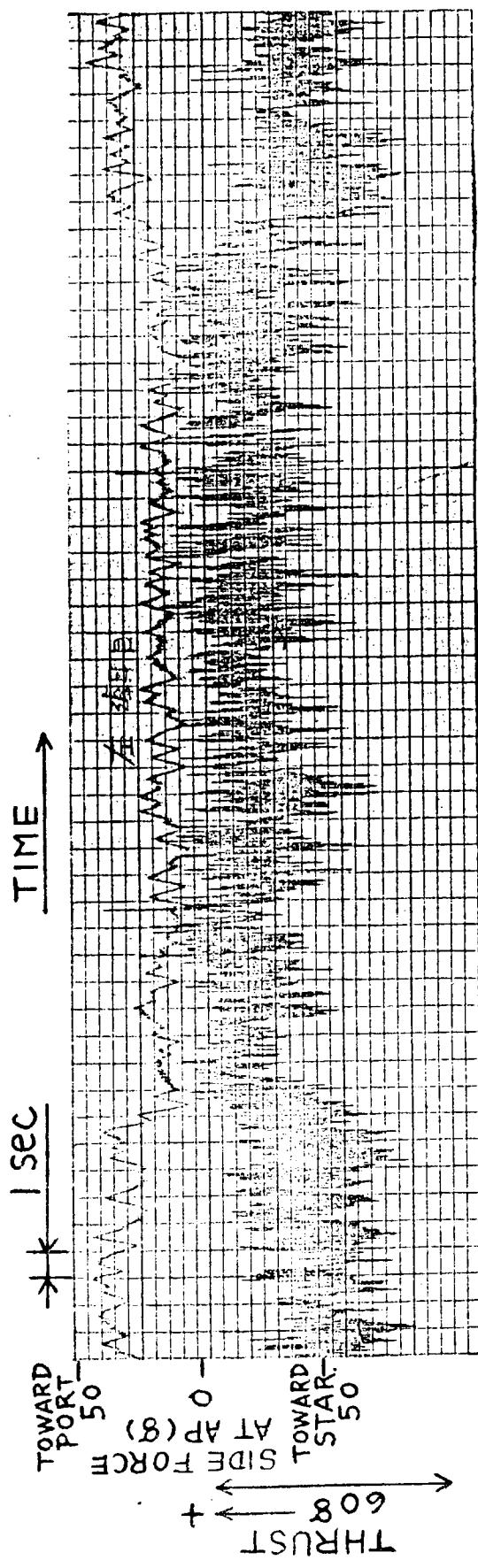
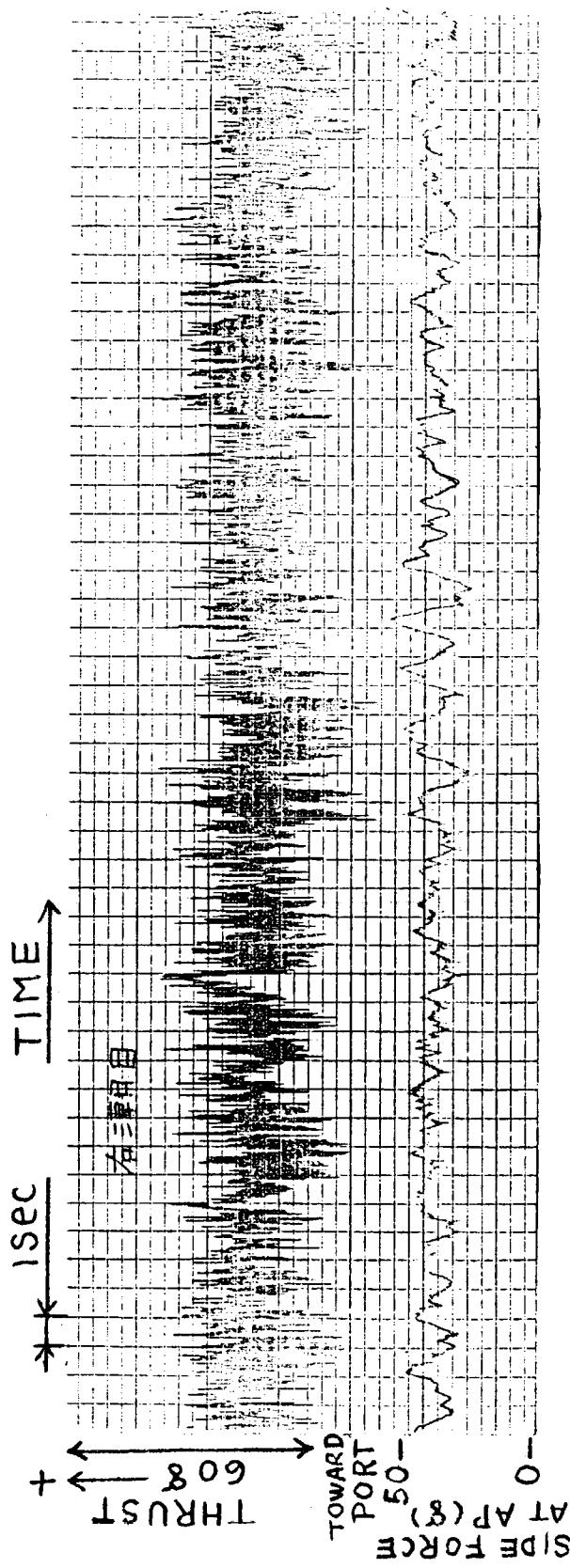
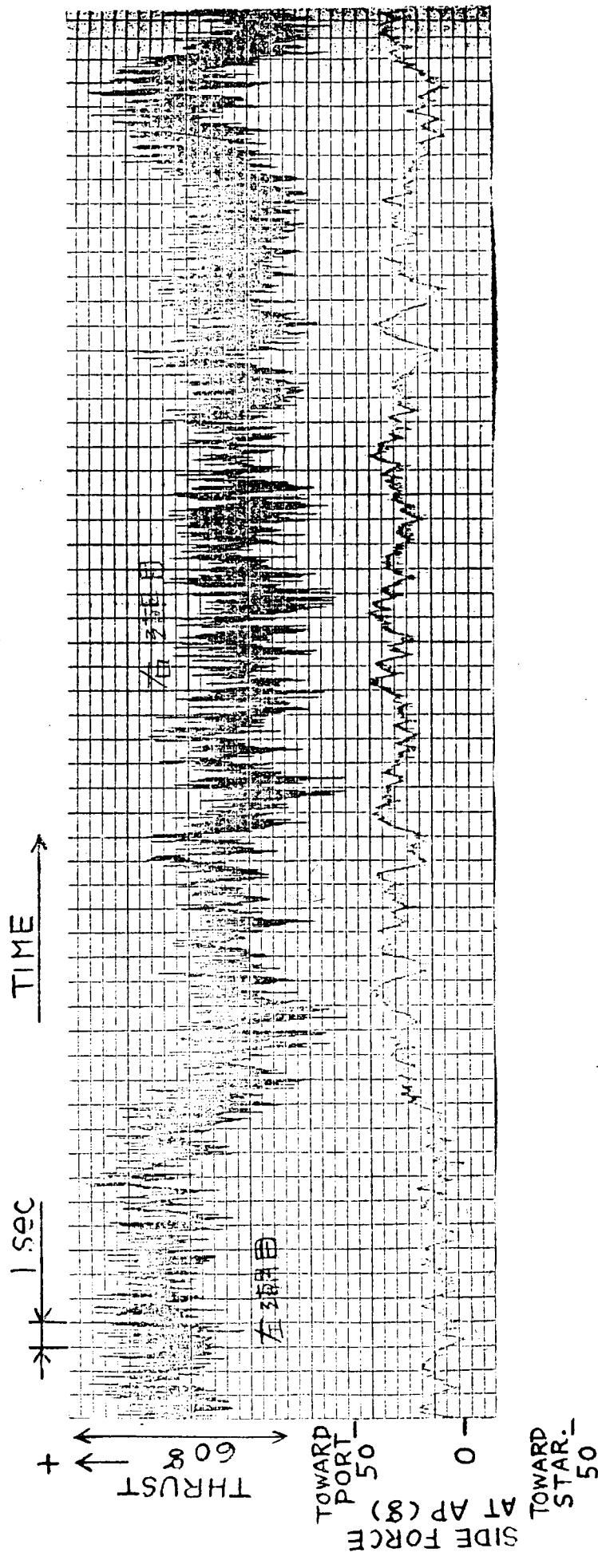


Fig. 4.3.2.35 (c) Records of Propeller Load Change Test, RBS Model,
65% Load, Yaw-Angle: 0° , $V = 0.8 \text{ m/s}$



(d) Propeller Rev. : 26 rps

Fig. 4.3.2.35 (d) Records of Propeller Load Change Test, RBS Model,
65% Load, Yaw-Angle: 0° , $V = 0.8 \text{ m/s}$



- 137 -

Fig. 4.3.2.36 Record of Yawed Test, RBS Model, 65% Load,
Yaw-Angle : Starboard 0.4° , $V = 0.8$ m/s
Propeller Rev. : 26 rps

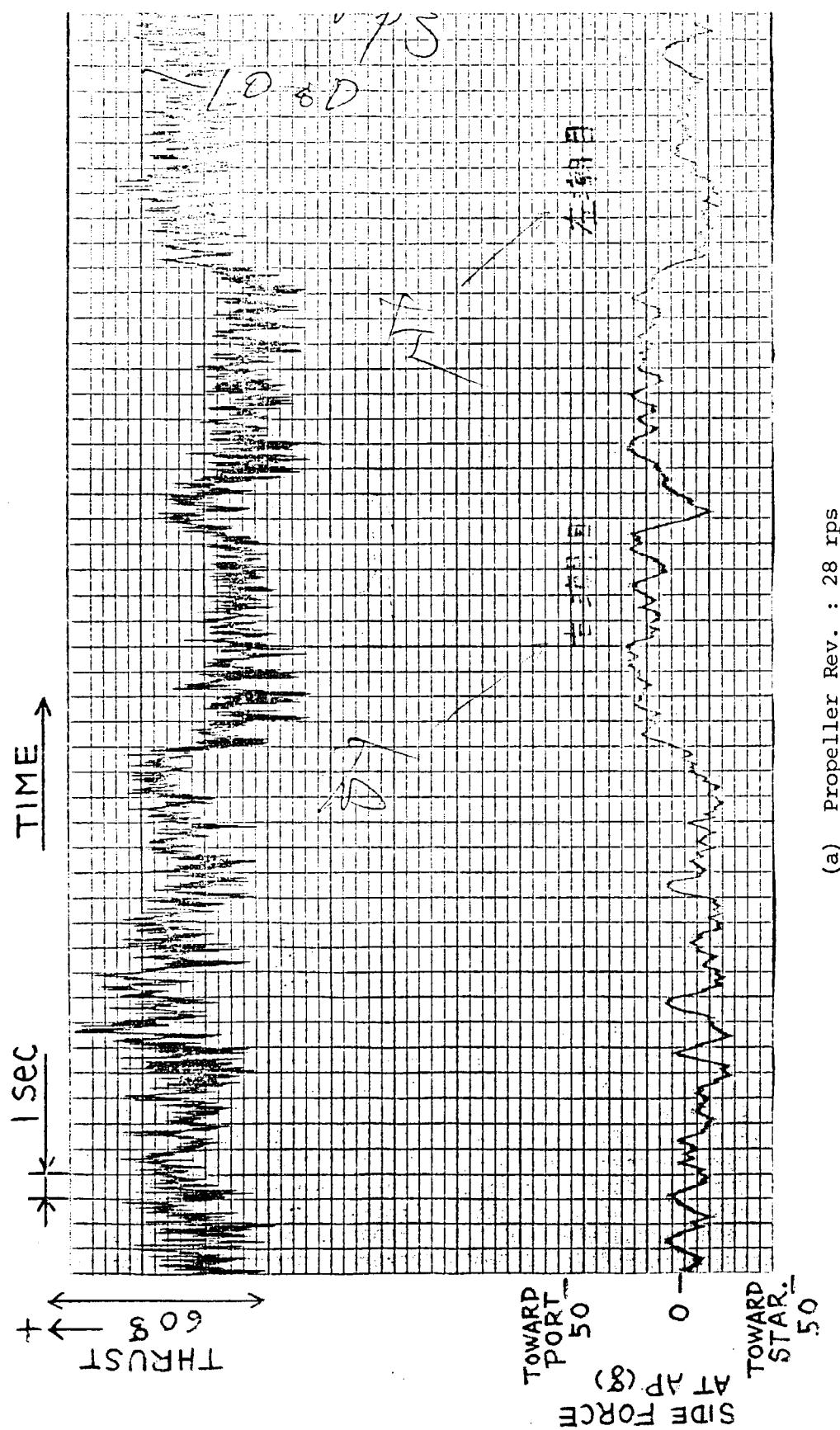
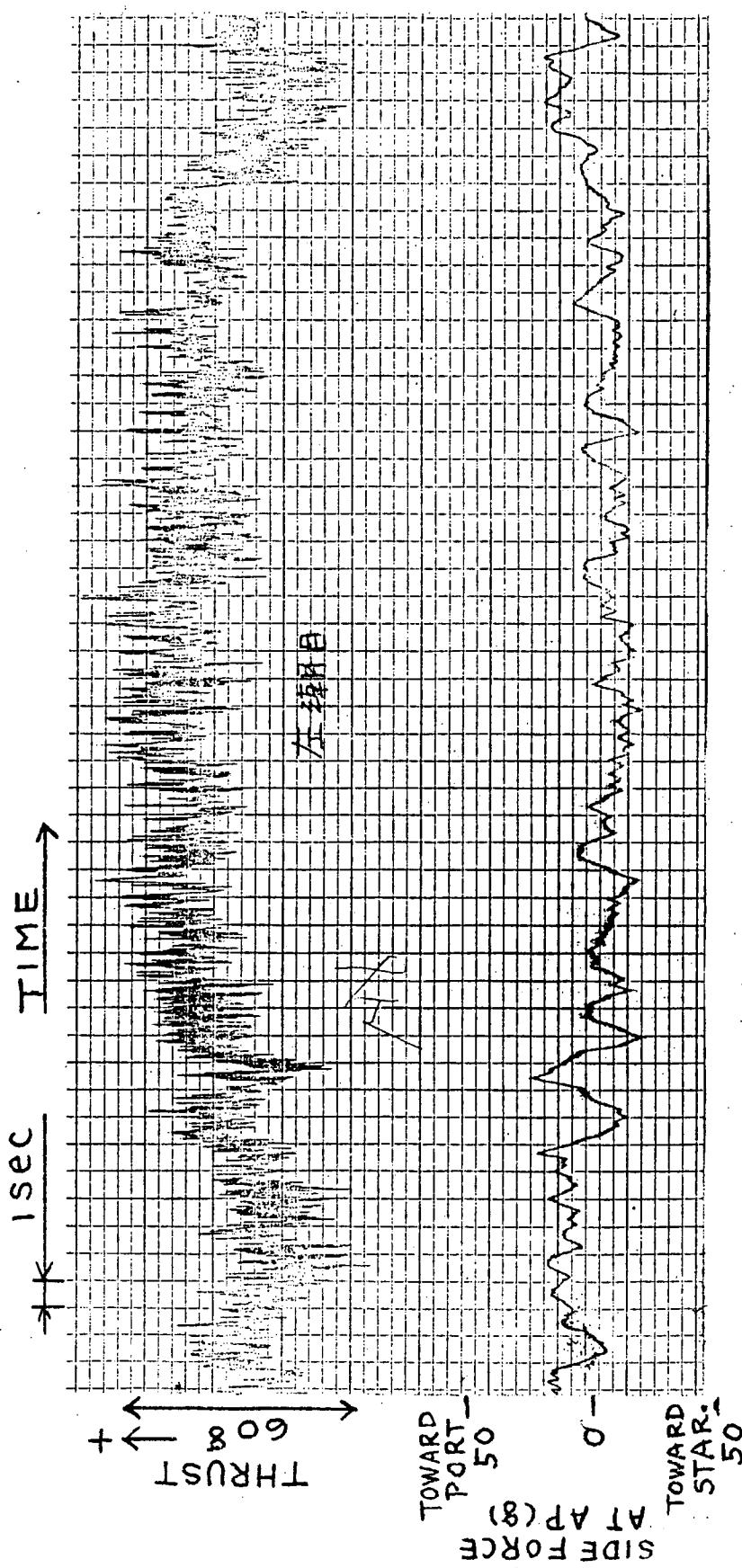


Fig. 4.3.2.37 Records of Small Propeller Test, RBS Model,
65% Load, Yaw-Angle : 0° , $V = 0.8 \text{ m/s}$, Propeller
Dia. : 53.1 mm

(a) Propeller Rev. : 28 rps



(b) Propeller Rev. : 30 rps

Fig. 4.3.2.37 Records of Small Propeller Test, RBs Model,
 65% Load, Yaw-Angle : 0° , $V = 0.8$ m/s, Propeller
 Dia. : 53.1 mm

4.3.3 境界層制御試験（ビルジ渦取り試験）

肥型船型の船尾では、船尾ビルジ渦が大きい場合は水面付近の逆縦渦が小さいか殆んど見られない例が多く、また船尾ビルジ渦が小さいと水面付近の逆縦渦が大きい傾向があるようである。このようにビルジ渦は船尾流場への影響が大きく、船尾水面付近の逆縦渦との関連もあるので、自航試験の不安定現象に若干関与があると考えられる。

S S 1 $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{4}$ のビルジ部の上部にスリットを設け、吸込みを行なうと、ビルジ部の3次元剥離を抑制することが出来、船尾ビルジ渦は大幅に縮小する。^{3) 4)} しかし船尾端水面付近の剥離が強くなり³⁾ 逆縦渦が発生するようになる。この方式の吸込みの利用により、ビルジ渦を縮小させ、推力変動状態の変化や船尾流れの不安定度の変化など、ビルジ渦の大小と自航試験の不安定現象との関連が調べられるかも知れない。

そこで、S R 1 5 9 - 5 1年度船型2m模型について、ビルジ渦取り境界層制御を行ないながら推力変動計測と流れの観察を行ない、ビルジ渦縮小が自航試験の不安定現象に及ぼす影響を調べることにした。

(1) 供試模型船

供試模型船はS S 4から前半は船型変更試験に使用した模型で、S S 4から後半は船型変更試験に使用したS R 1 5 9 - 5 1年度船型木製模型からF R P雌型を作り、この雌型により製作したF R P製模型である。F R Pとしたのは、木製に比較して大幅に薄肉にでき、境界層制御用スリット、ダクトの工作、圧力計測タップ取付けに便なためである。スリットは本部会の従来の油膜法による結果を参考にし、S S $\frac{2}{5}$ ~ $1 \frac{1}{2}$ に設けた。スリット位置をFig. 4.3.3. 1に示す。

(2) 試験状態

スリットからの吸込み流量の値により、自航試験の不安定現象が発生する載貨状態、プロペラ荷重度などかわる可能性が考えられるが、今回は試験状態は65%載貨状態・1%トリム、速度0.8m/sのみとし、プロペラ荷重度は若干変えて自航試験の不安定現象の発生状況をみて定めることにした。

(3) 実験装置および実験方法

実験装置全体概略配置をFig. 4.3.3. 2に示す。船尾ビルジ部上部の両舷のスリットから吸込み、回流水槽外に設けた呼径40の渦巻きポンプへ導き、ポンプ吐出側から電磁流量計検出部をへて回流水槽測定部下流に戻す。電磁流量計の発信器にはS R 1 0 7研究部会で使用した電磁式対水速度計のものを用いた。渦巻きポンプや吸込み・排水管路系を模型船に積載しても、スリットからの吸込み、吸込んだ水の排水による運動量変化のため、船体に大きな力が加わり、横力・曳航力の計測は非常に困難であるから行なわず、配置を上記のようにして、推力変動の計測のみを行なうこととした。推力計測装置は本部会昭和52年度報告書記載のものと同一である。

まず、吸込み流量0で、プロペラ荷重度を種々に変えて推力の記録とタフトグリッドによる船尾下流の流れの観察と潮目の観察を行ない、自航試験の不安定現象の発生状況を見て、最も頻繁に流れが切替わるプロペラ回転数を見出す。つぎに、このプロペラ回転数で、吸込み流量を変え、自航試験の不安定現象の発生状況に変化が現われる流量を求め、推力変動の記録、流れの観察・撮影を行なう。タフトグリッドは船型変更試験で使用したものと同一で、設置位置も同一である。観察記録は8ミリ映画と35ミリスチール写真の撮影により行なうこととした。さらに、他のプロペラ回転数についても、吸込み流量を変えて推力変動と潮目の状況を調べる。

以上により吸込みの影響が比較的顕著に現われればそのプロペラ回転数と吸込み流量一種のみについて、船尾船体表面圧力分布計測を行なう。圧力計測孔位置をFig. 4.3.3. 1に示す。圧力計測孔の横の数字は圧力計測孔番号を示す。圧力孔内径は1.0mmで、圧力計測孔の数は両舷の合計96、スキャニングバルブ2台、半導体圧力変換器および増幅器2組を使用し、対称位置の左右舷圧力変動状況を、潮目を監視しつつ、順次に圧力孔位置を切換えて計測記録する。同時に推力も記録する。

吸込みスリットの前部はビルジ渦吸取りの有効度が小さい。また、吸込みを行なうと船体表面圧力分布が大幅に変化する。なるべく圧力変化領域が小さくてビルジ渦吸取り効果があることが望ましいので、上記吸込みスリットの前部 SS 1~1 1/2 を閉じて試験する。さらに逆にスリット後半を閉じた場合についても試験する。

(4) 実験結果および考察

吸込み流量 0においてプロペラ回転数を変え自航試験の不安定現象の発生状況をみたところ、18~29 rps で不安定現象が現われた。そこで吸込み流量 0における自航点 (model point) のプロペラ回転数 26 rps を保って試験を行なうこととした。なお吸込みを行なうと回転数一定では推力が減少するので、回転数を増し推力がほぼ吸込み流量 0 の時に一致するようにした場合も若干試みた。

Fig. 4.3.3.3 にプロペラ回転数 26 rps における吸込み時推力値および推力変動範囲を示す。推力変動の吸込み流量による変化は大きくないようである。Fig. 4.3.3.4 に吸込み時推力変動とプロペラ回転数の関係を示す。両舷吸込みの場合と吸込み流量 0 の場合とで推力変動が大きくなるプロペラ回転数が若干異なるようである。片舷のみ吸込む場合は、ある回転数以上では、潮目は吸込み側に固定するようである。これは吸込み側ではビルジ渦が殆んどなく水面付近に逆縦渦が発生し易くなることが原因と考えられる。Fig. 4.3.3.5 に潮目の左右舷移動に及ぼす吸込みの影響を調べた結果を示す。吸込み流量 0 の時は右潮目継続時間が左潮目より大幅に長いに対し、吸込み時は右潮目と左潮目と継続時間が大体同じになっている。Fig. 4.3.3.6 に吸込み流量 3 種における推力記録例を示す。吸込み流量 $0.36 \times 10^{-3} m^3/s$ では推力大、左潮目の時間が吸込み流量 0 の時より若干長くなっているようである。Fig. 4.3.3.7 にプロペラ回転数一定で片舷のみ吸込みの場合の推力記録の例を示す。両舷吸込みに比較し、左舷のみ吸込みでは推力が大、右舷のみ吸込みでは推力が小となる傾向が現われている。なお、記録中の A 線はビシグラフの他の振動子による線 (信号 0) で比較の基線にできる。Fig. 4.3.3.8 はプロペラ回転数一定で吸込み流量を 0 から最大まで連続的に変えた時の推力変化記録例で、吸込みにより推力が大幅に変化している。これは伴流の減少によるものである。

タフトグリッドにより船尾下流の流れを観察した。Fig. 4.3.3.9、4.3.3.10 にタフトグリッド法の結果のスケッチ例を示す。曳航時は吸込みによりビルジ渦が殆んど認められなくなっていた。自航時はプロペラ後流により、ビルジ渦の観察は困難になるので、吸込みによるビルジ渦縮小を確かめることはできなかった。また自航時の水面付近の流れは、吸込みの影響の有無が不明瞭であった。

圧力変動の記録例を Fig. 4.3.3.11 に示す。圧力分布計測結果を Fig. 4.3.3.12 に示す。ただし $C_p = [(\text{航走時静圧}) - (\text{静止時静圧})] / \frac{1}{2} \rho V^2$ 、 ρ は密度である。プロペラ近傍において推力大の時と小の時とで圧力分布の状態が左右舷入れ替ることは従来の研究結果とほぼ同一である。吸込みを行なうと吸込みスリット付近の圧力が大幅に低下している。

なお、プロペラ直径変更試験を追加して行なった。プロペラ直径は 53.1 mm、 $V = 0.8 m/s$ である。その結果直進時、吸込み流量 0 では 18~26 rps で不安定現象が現われ、吸込み流量 $0.18 \times 10^{-3} m^3/s$ では 23~33 rps で不安定現象が現われ、吸込み流量 $0.36 \times 10^{-3} m^3/s$ では 22~28 rps で不安定現象が現われた。

SS 2/5~1 1/2 に設けたスリットの前半をふさいだところ、推力変動状況には吸込みによる変化が殆んど認められなかった。従来の結果ではスリット前半をふさいでも吸込みのビルジ渦吸取り作用の減小は少ない。⁴⁾

スリットの後半をふさいだところ、推力変動状況に吸込みの影響が少し現われた。この場合は従来の結果では吸込みのビルジ渦縮少作用は小さく、ビルジ渦はあまり小さくならない。⁴⁾

以上の結果により、自航試験の不安定現象におけるビルジ渦の関与は直接的なものではなく、水面付近の逆縦渦発生への間接的寄与、プロペラ推力の左右非対称発生、不安定現象におけるある状態から他

の状態へのとび移りに対する外乱としてのビルジ渦自身の変動の寄与などのように間接的なものと考えられる。

参考文献

- 3) 田古里哲夫 : 粘性抵抗減少法、日本造船学会粘性抵抗シンポジウム（昭和48年）
- 4) 田古里哲夫 : タンカー船尾吸込実験、未公刊、〔日本造船学会試験水槽委員会粘性抵抗小委員会資料（昭和40年4月）〕

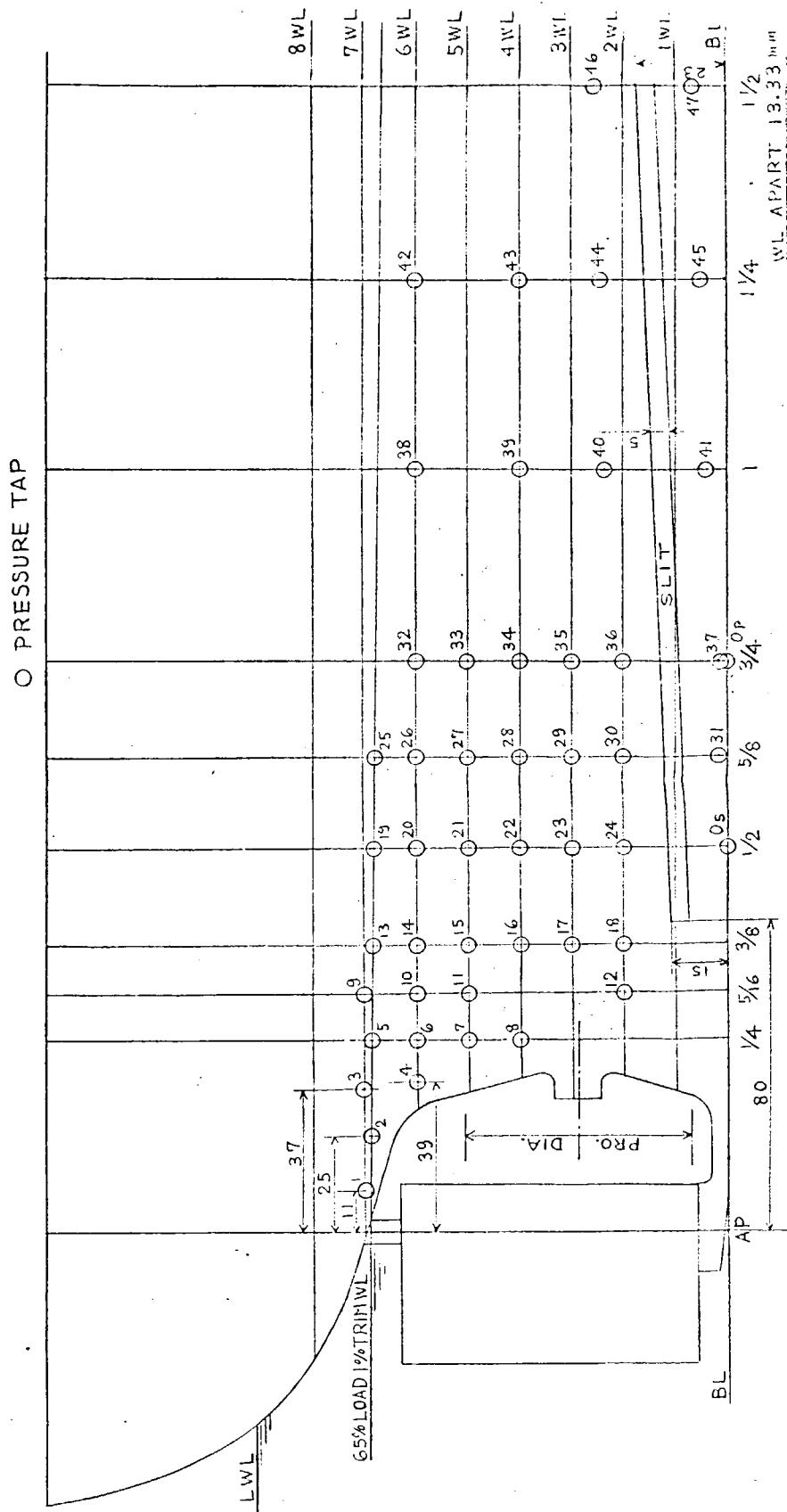


Fig. 4.3.3.1 Slit and Pressure Tap

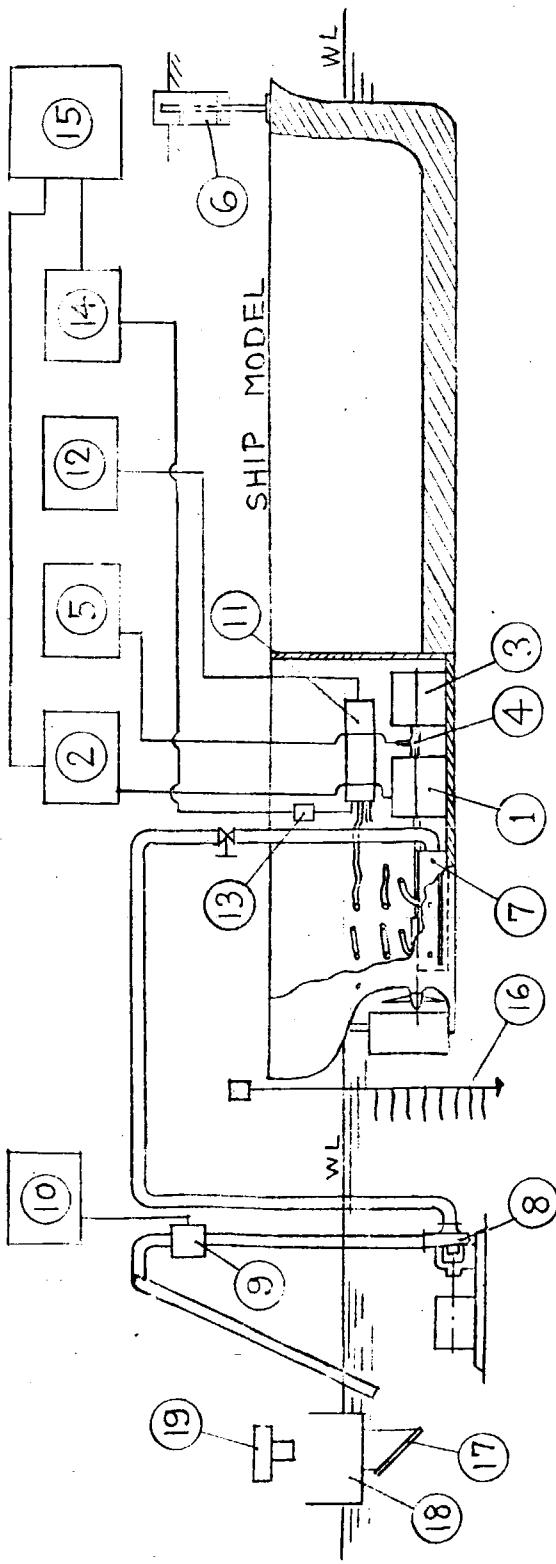


Fig. 4.3.3.2 Arrangement of Apparatus

- | | | |
|-----------------------|------------------------------------|---------------------|
| 1: Thrust Meter P.U. | 8: Pump for Suction | 15: E M Oscilograph |
| 2: Thrust Meter Amp. | 9: Electromagnetic Flowmeter P.U. | 16: Tuft Grid |
| 3: Motor | 10: Electromagnetic Flowmeter Amp. | 17: Mirror |
| 4: Revolution P.U. | 11: Scanning Valve | 18: Boat |
| 5: Revolution Counter | 12: Scanning Valve Controller | 19: Camera |
| 6: Guide | 13: Pressure Transducer | |
| 7: Suction Duct | 14: Amp. | |

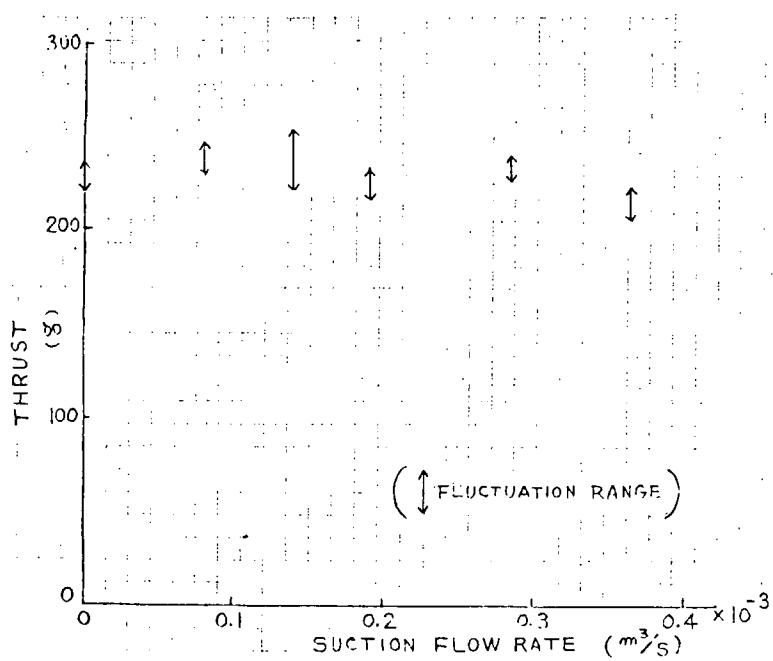


Fig. 4.3.3.3 Thrust at Upper Bilge Suction, SR159-51 Model, 65% Load, $V = 0.8 m/s$, Propeller Rev. : 26 rps, Both Side Suction, Yaw-Angle : 0°

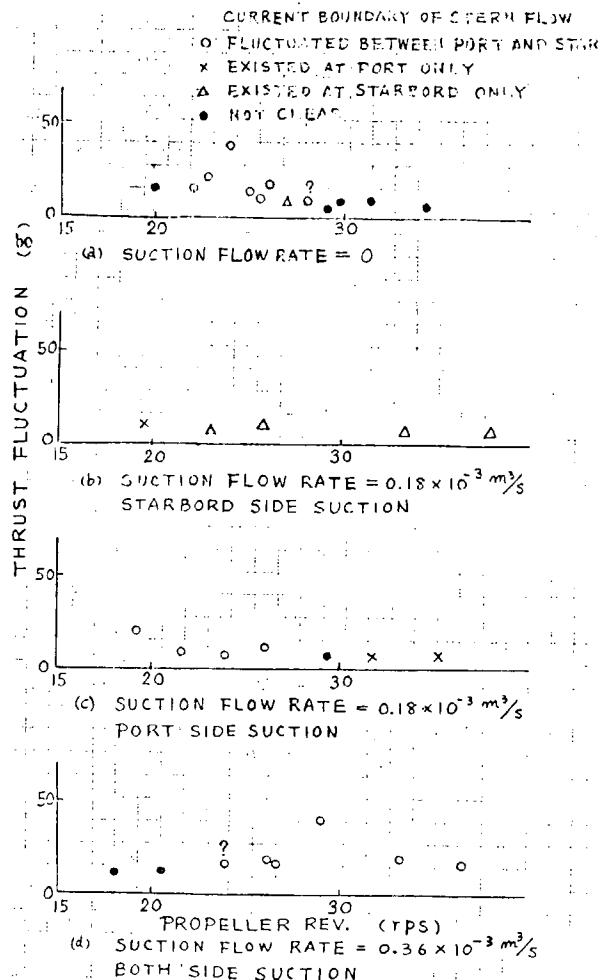


Fig. 4.3.3.4 Thrust Fluctuation at Upper Bilge Suction, SR159-51 Model, 65% Load, $V = 0.8 m/s$, Yaw-Angle : 0°

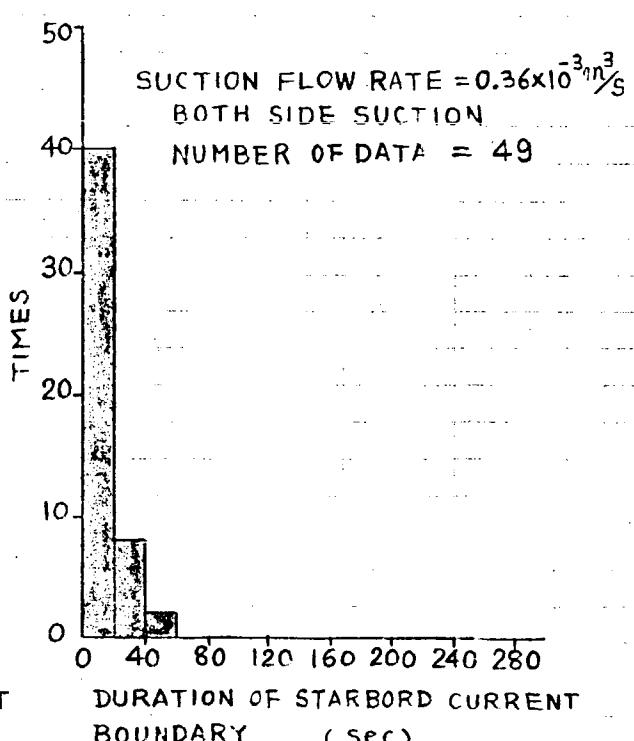
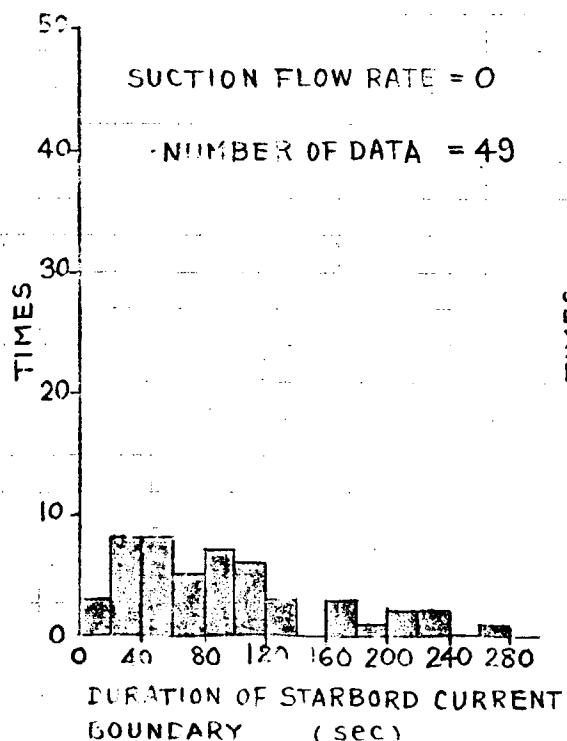
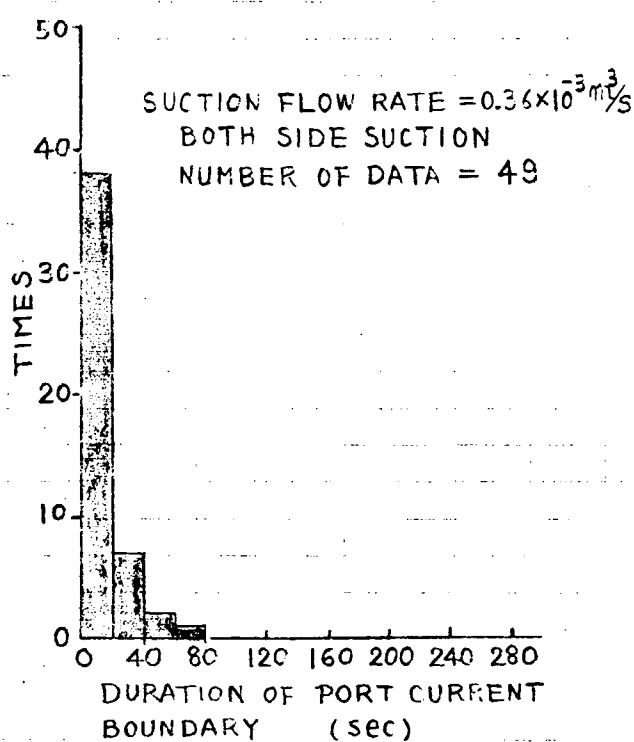
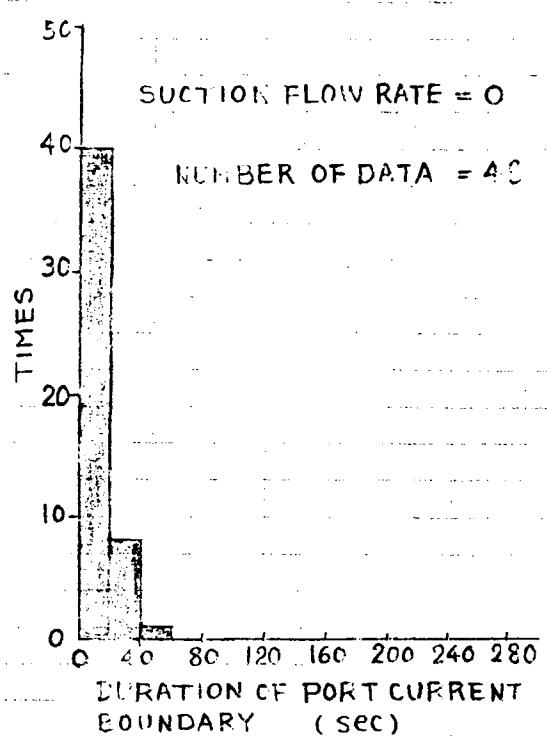


Fig. 4.3.3.5 Duration of Current Boundary at Upper Bilge Suction,
SR159-51 Model, 65% Load, $V = 0.8 \text{ m/s}$, Yaw-Angle : 0° ,
Propeller Rev. : 26 rps

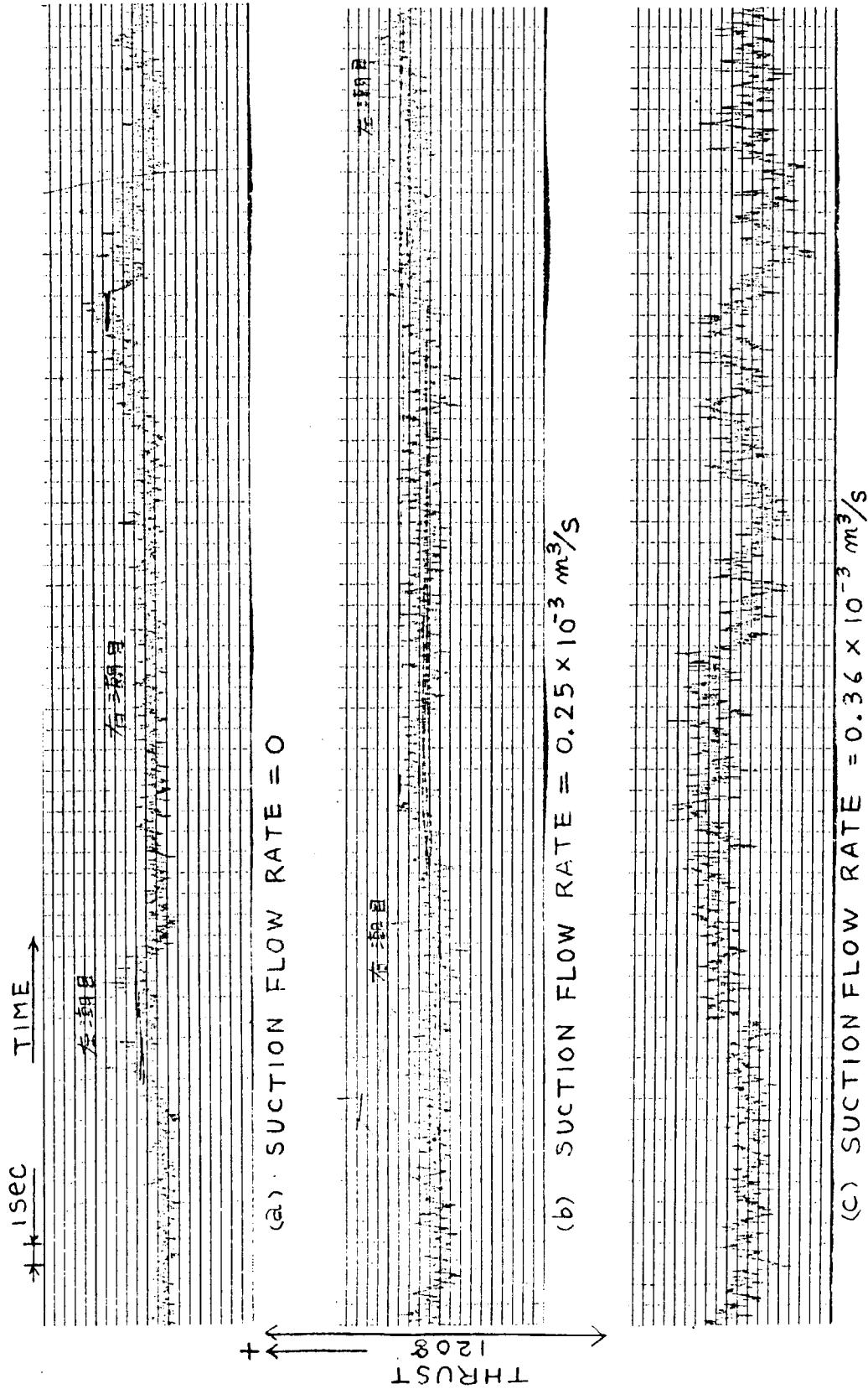


Fig. 4.3.3.6 Records of Suction Test, SR159-51 Model, 65% Load,
 $V = 0.8 \text{ m/s}$, Propeller Rev. = 29 rps, Both Side Suction,
 Yaw-Angle 0°

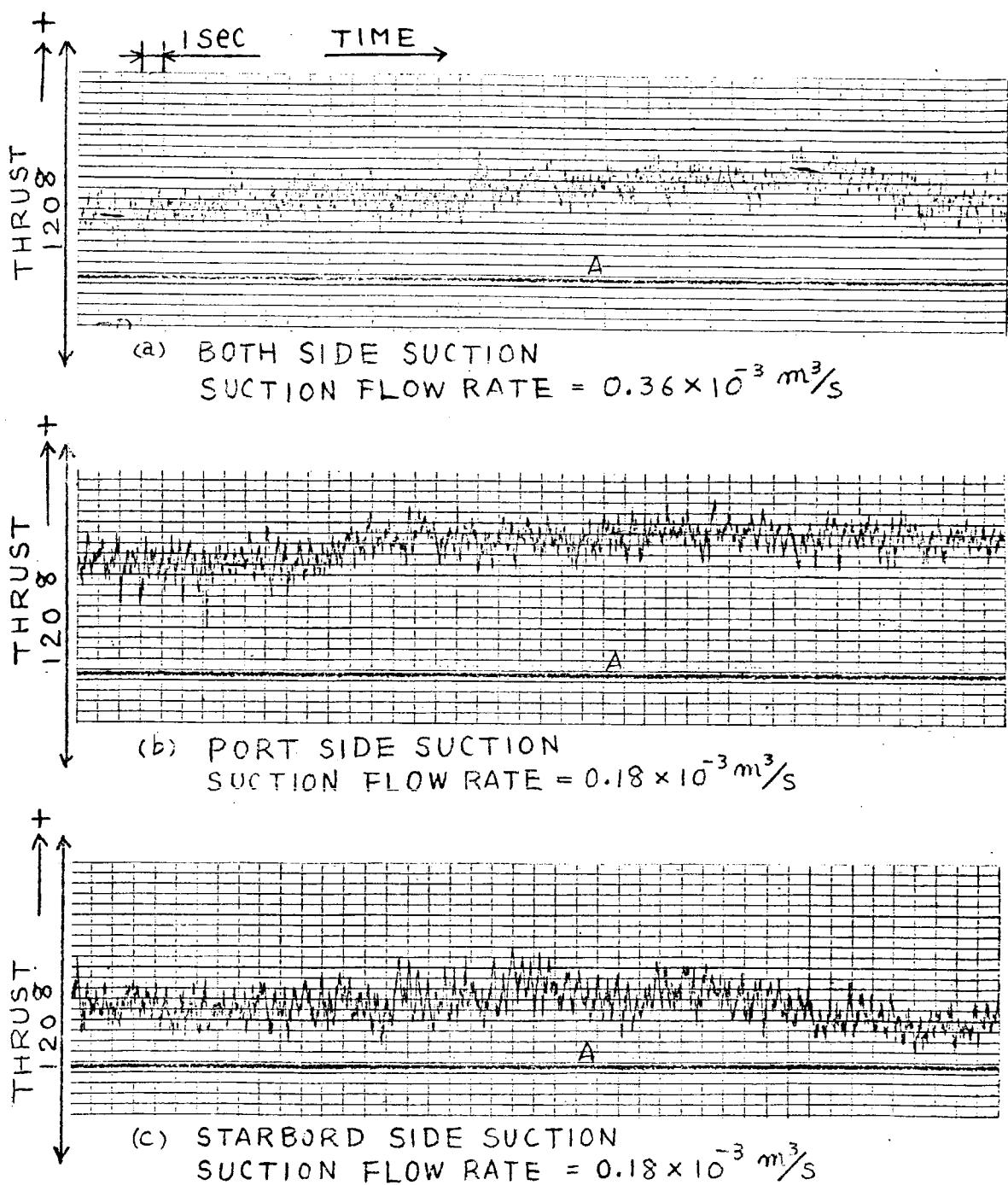


Fig. 4.3.3.7 Records of One Side Suction Test, SR159-51 Model,
 65% Load, $V = 0.8 \text{ m/s}$, Propeller Rev. = 26 rps,
 Yaw-Angle 0° , WT = 16.7°C

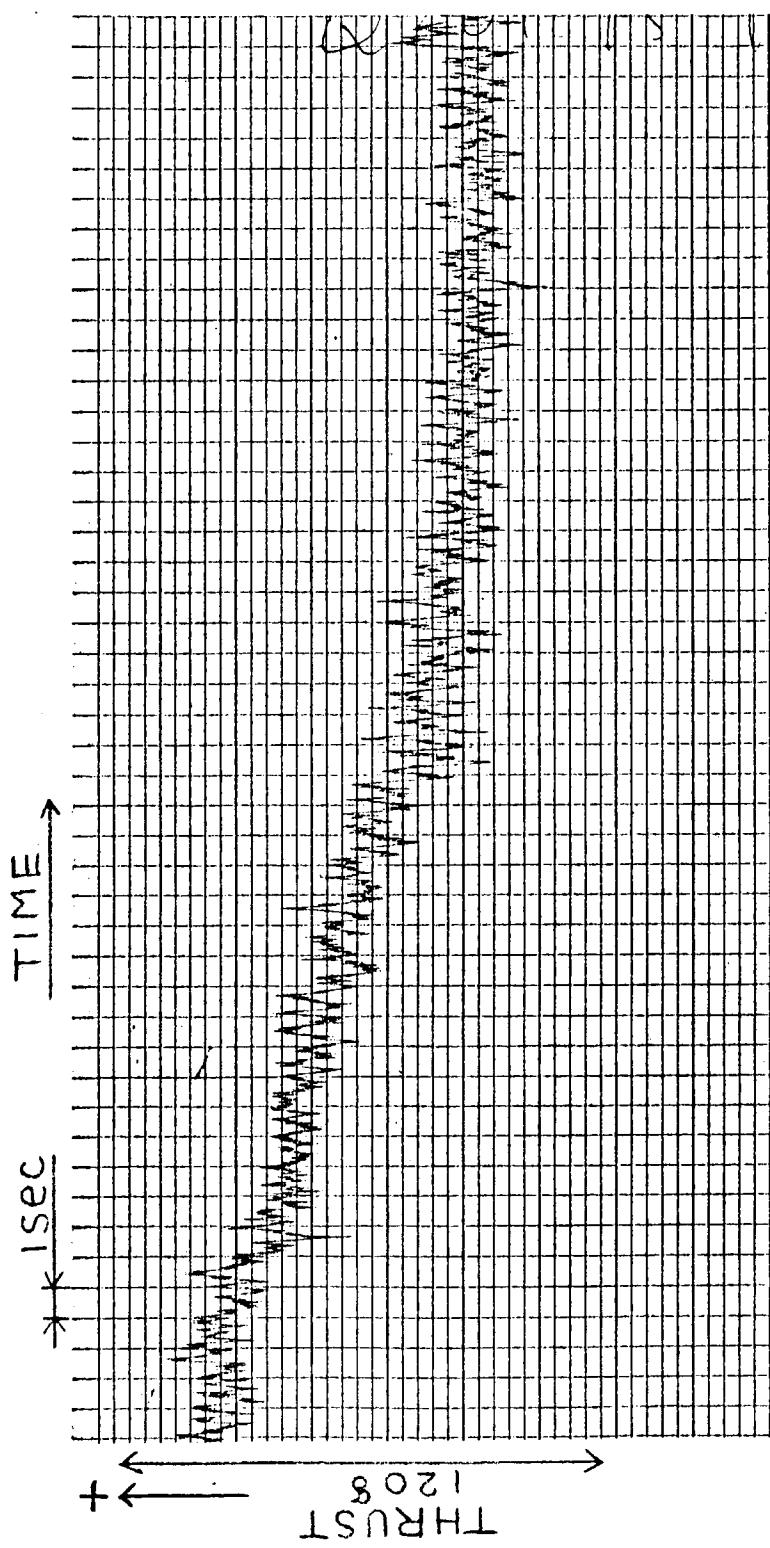
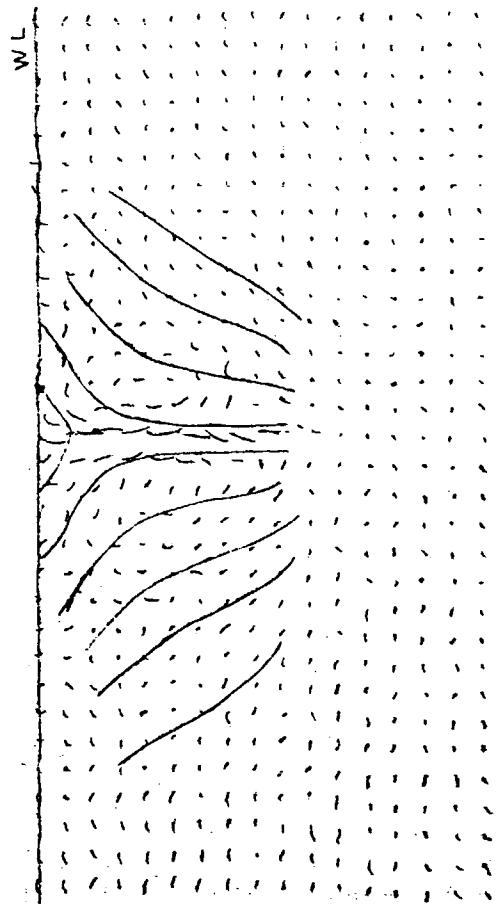
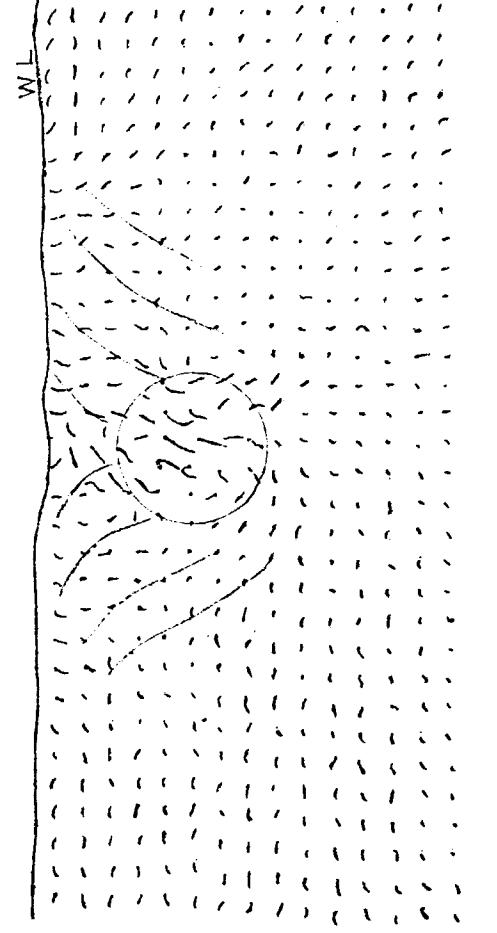


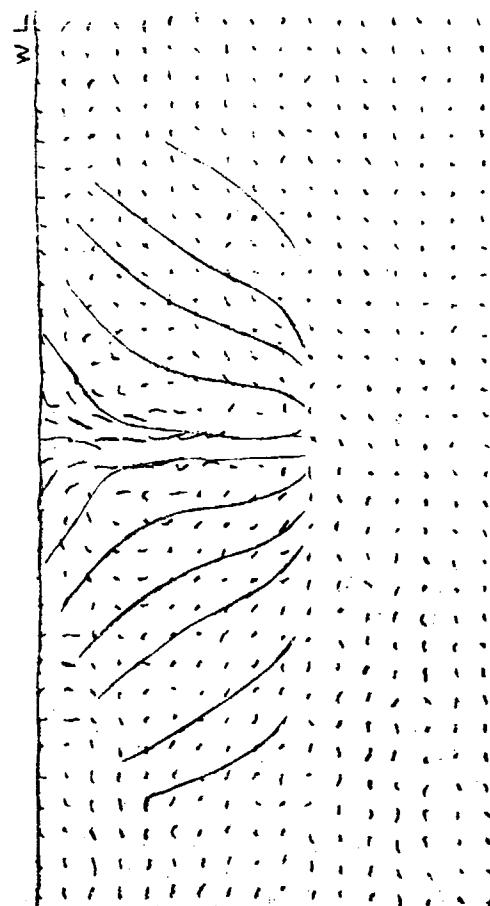
Fig. 4.3.3.8 Record of Suction Test, SR159-51 Model, 65% Load,
 $V = 0.8 \text{ m/s}$, Propeller Rev. = 26 rps, Both Side Suction,
 Yaw-Angle 0°, Suction Flow Rate was Varied from 0 to
 $1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$



(a)



(a)



(b)

Fig. 4.3.3.9 Results of Tuft Grid Method, SR159-51 Model, 65% Load, $V = 0.8 \text{ m/s}$, Towed, with Both Side Suction, Suction Flow Rate = $0.36 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$

Fig. 4.3.3.10 Results of Tuft Grid Method, SR159-51 Model, 65% Load, $V = 0.8 \text{ m/s}$, Self Propelled, Propeller Rev. = 26 rps, with Both Side Suction, Suction Flow Rate = $0.36 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$

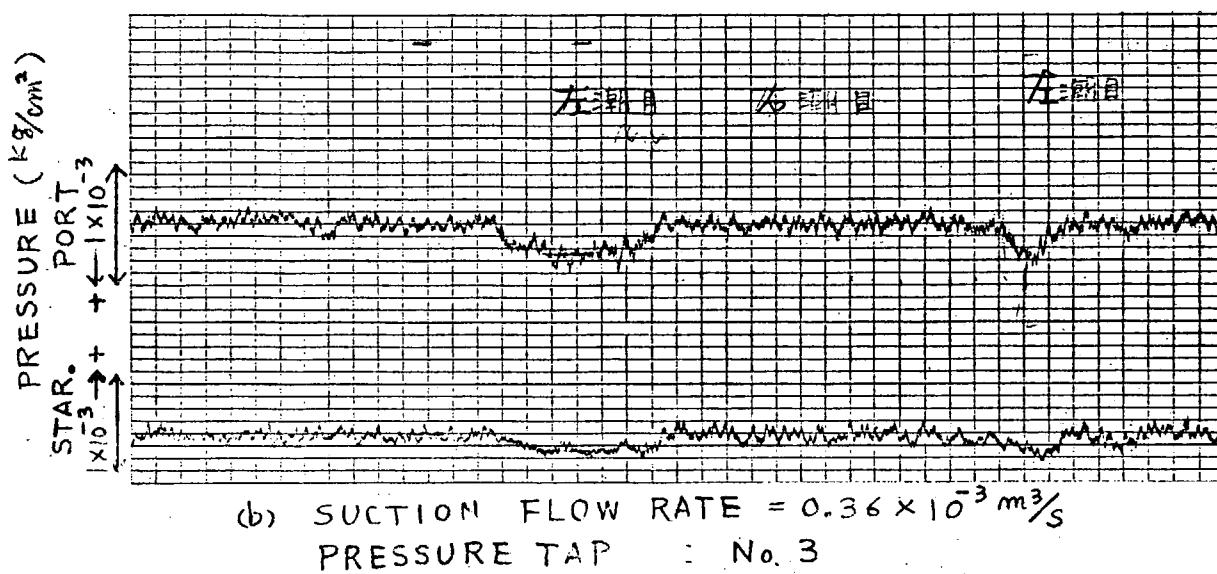
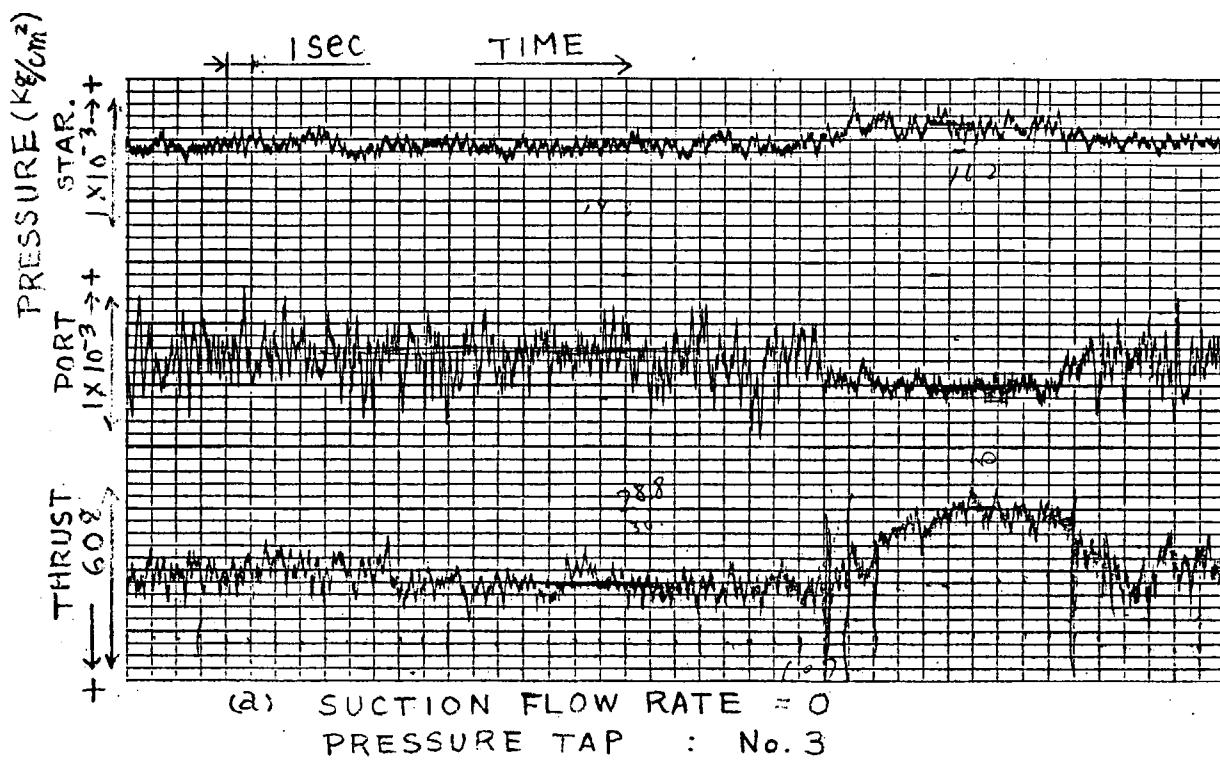


Fig. 4.3.3.11 Records of Pressure at Suction Test, SR159-51 Model,
65% Load, $V = 0.8 \text{ m/s}$ Propeller Rev. = 26 rps,
Yaw-Angle 0° , Both Side Suction

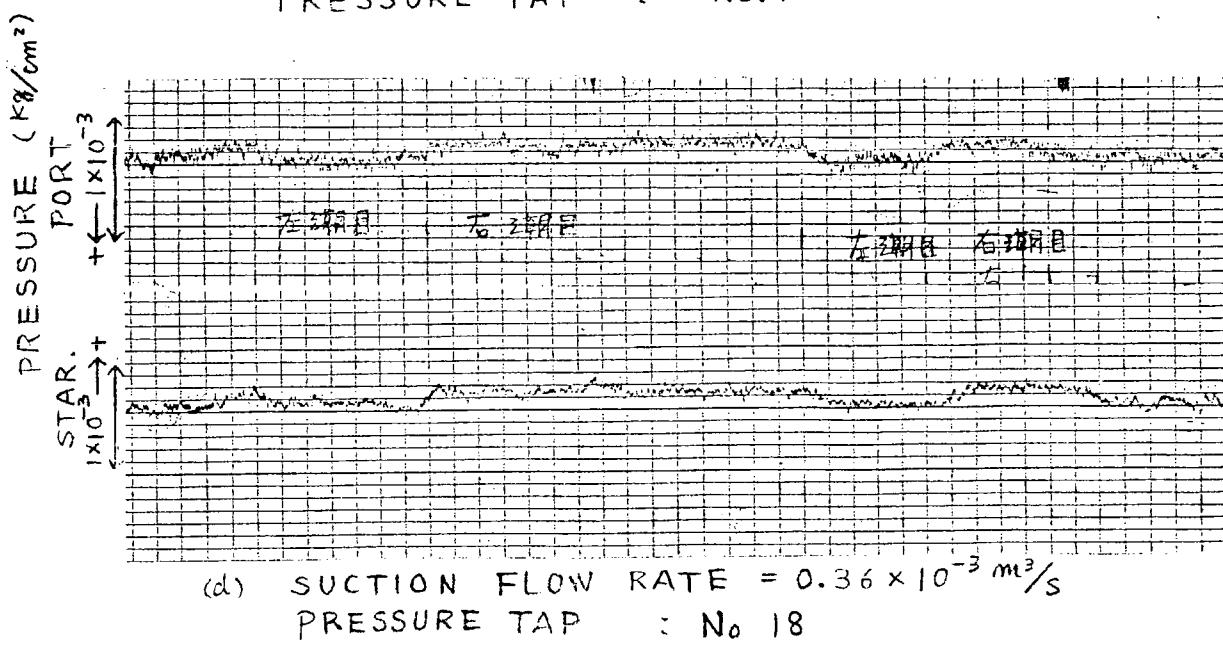
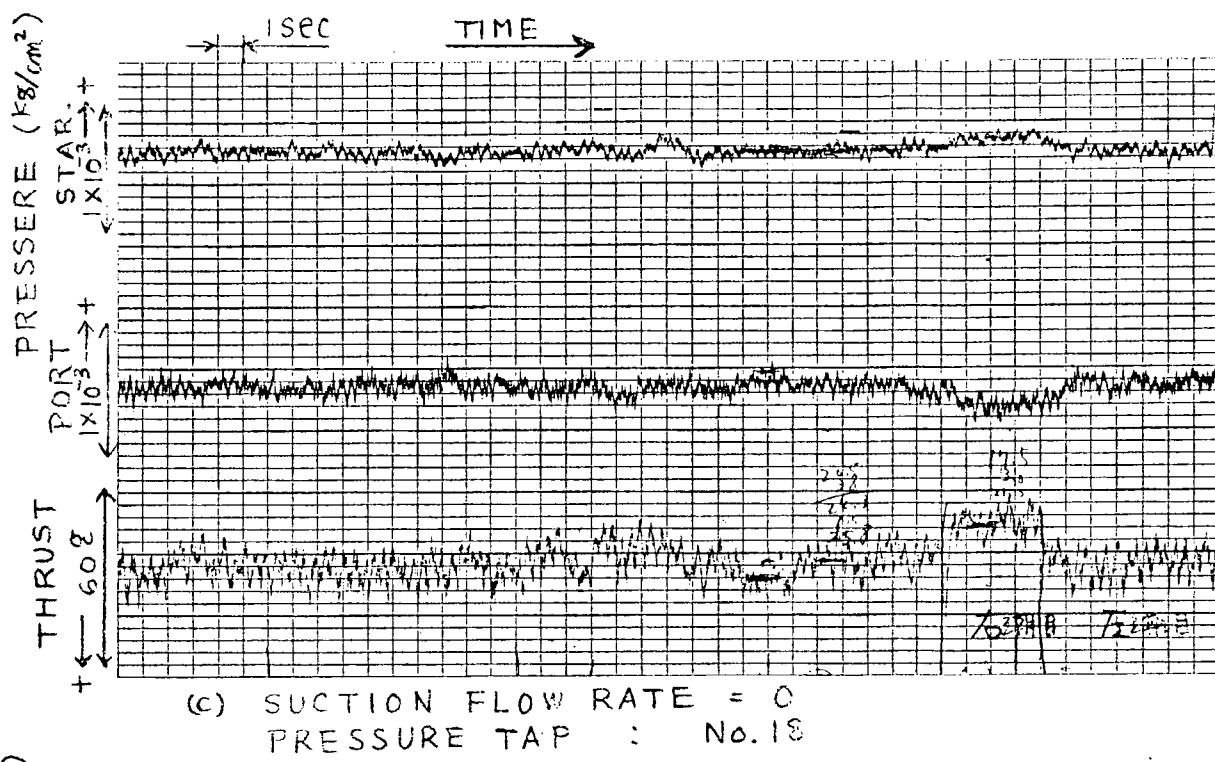
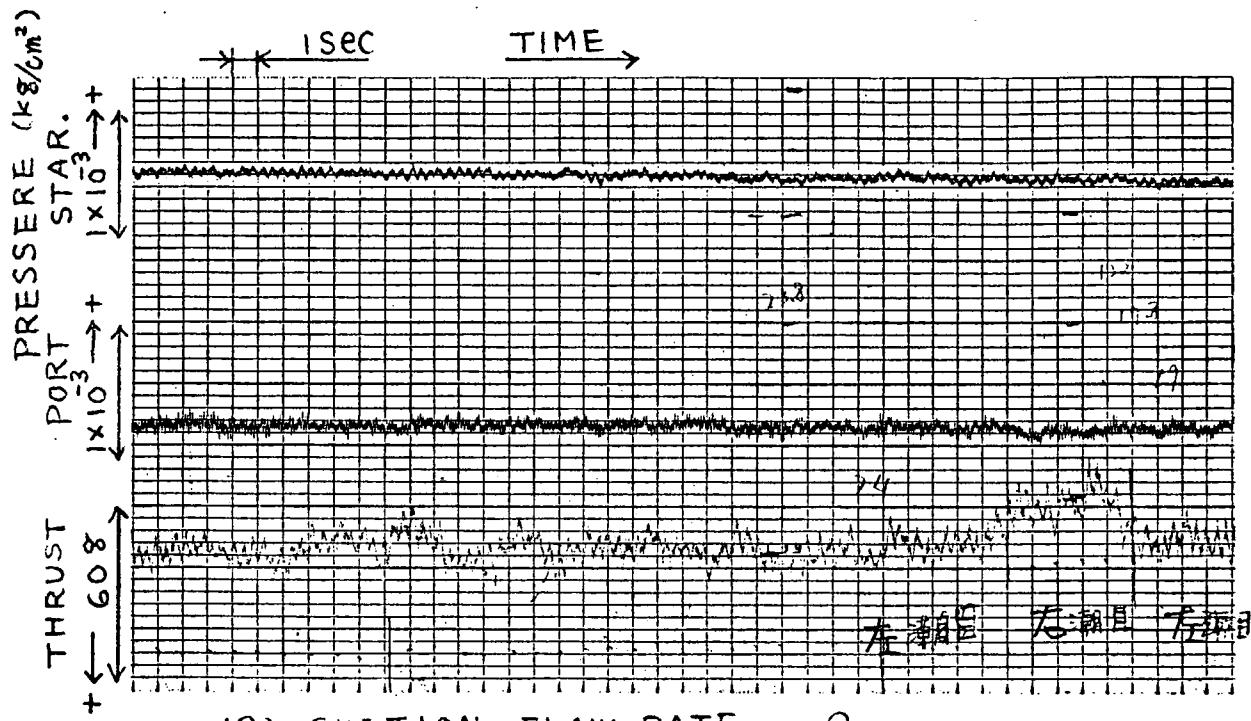
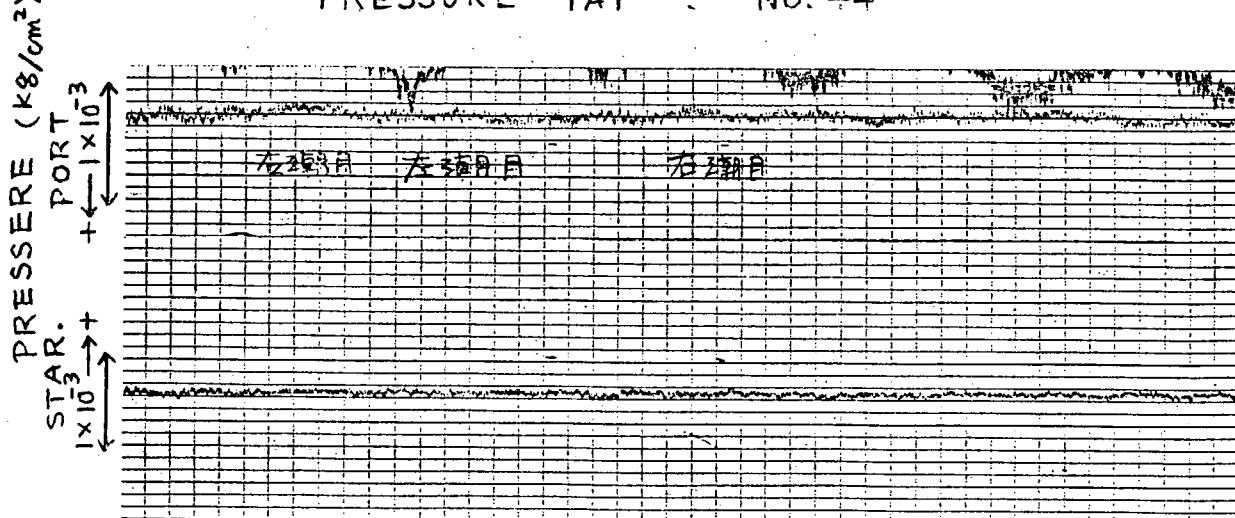


Fig. 4.3.3.11 Records of Pressure at Suction Test, SR159-51 Model,
65% Load, $V = 0.8 \text{ m/s}$ Propeller Rev. = 26 rps,
Yaw-Angle 0° , Both Side Suction



(e) SUCTION FLOW RATE = 0
PRESSURE TAP : No. 44



(f) SUCTION FLOW RATE = $0.36 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$
PRESSURE TAP : No. 44

Fig. 4.3.3.11 Records of Pressure at Suction Test, SR159-51 Model,
65% Load, $V = 0.8 \text{ m/s}$ Propeller Rev. = 26 rps,
Yaw-Angle 0° , Both Side Suction

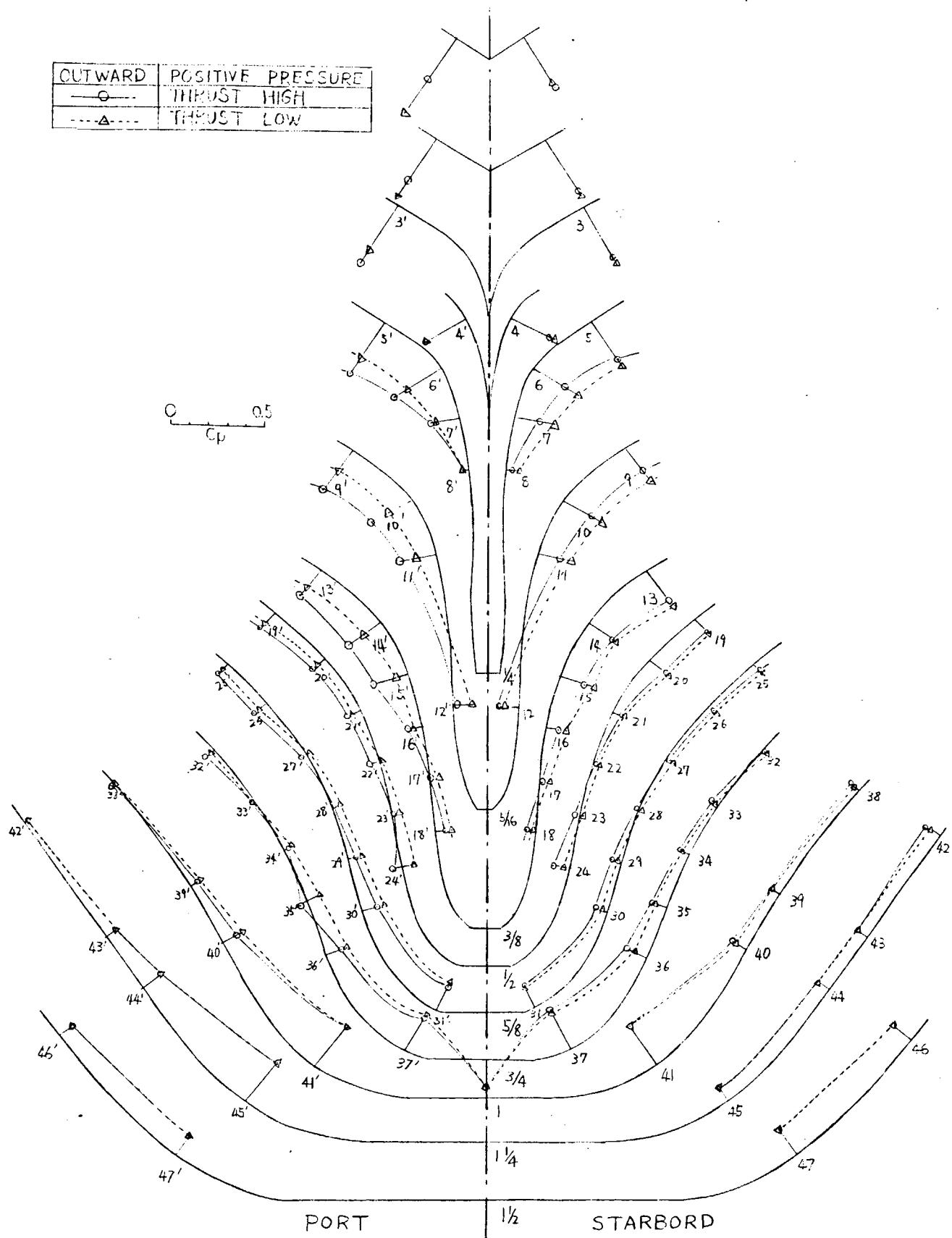


Fig. 4.3.3.12(a) Pressure Distribution SR-159-51 Model, 65% Load,
 $V = 0.8 \text{ m/s}$, Self Propelled, without Suction

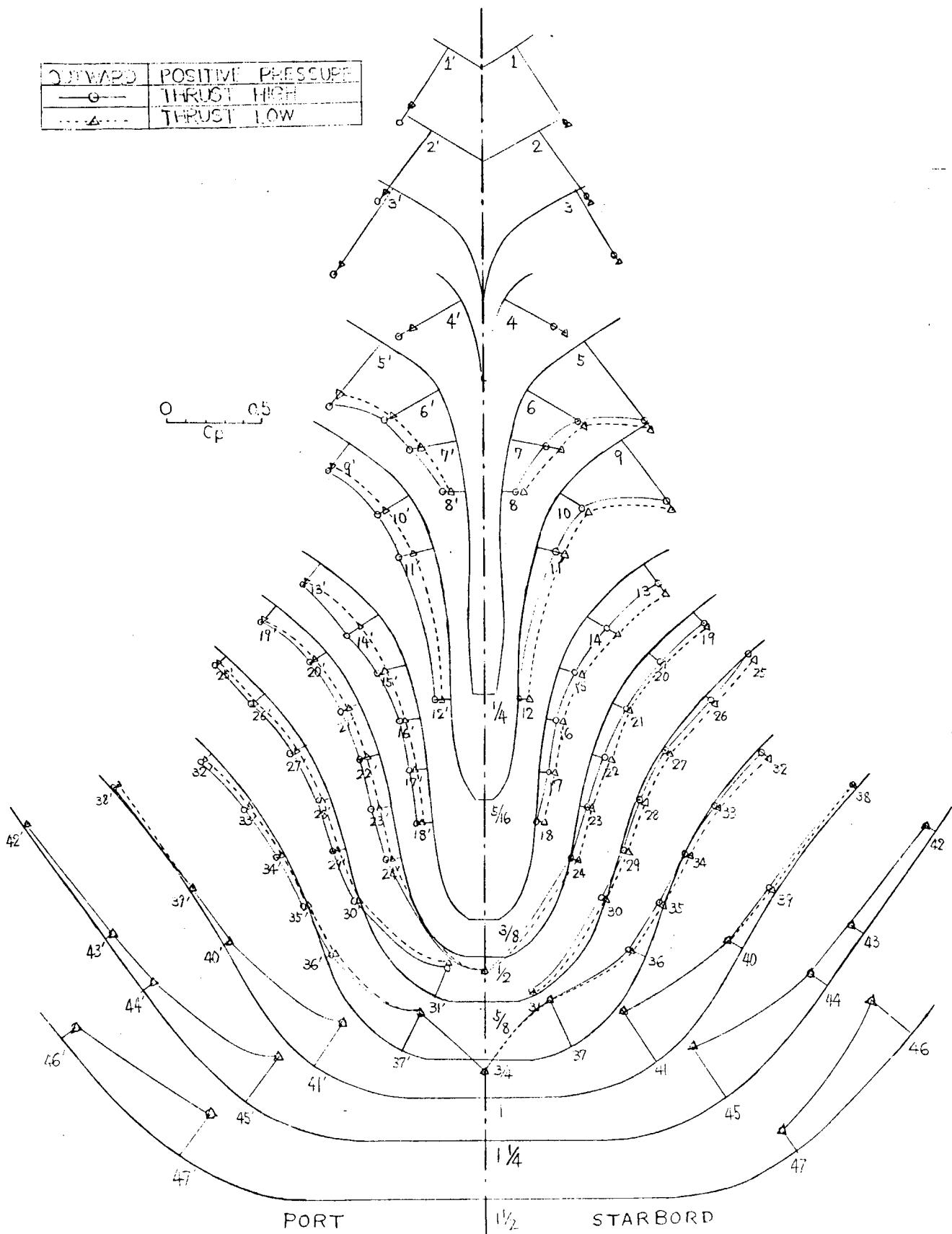


Fig. 4.3.3.12(b) Pressure Distribution, SR-159-51 Model, 65% Load,
 $V = 0.8 \text{ m/s}$, Self Propelled, Propeller Rev. = 26 rps,
 with Both Side Suction, Suction Flow Rate
 $0.36 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$

4.4 まとめ

以上で本年度の研究報告を終了する。簡単に総括すれば次のようなことがいえるであろう。

まず今年度製作した4mの新船型においては、基本項目の範囲内では非常に安定した結果を与える、不安定現象は全く発生していないことが判明した。従って、この結果だけからいえば、船型のV型の度合がこの程度に烈しくなると流場が再び安定化するものと判断される。同じ船型で7mの実験でも同様の結果が得られており、船型と不安定現象との関係の一つの上限を示す資料と考えられる。もっともこれは一例であるので、今後この方面的実験などが更に必要であることはいうまでもない。

次に51年度船型の4m模型追試結果により、現象の詳細が更に明らかになった。すなわち、プロペラ荷重度が高い程、流場の特徴は推力小のパターンに移行すること、推力変動が潮目変化に先行すること、左潮目の時に水面付近に左廻りの渦が存在すること、仕切板が不安定現象の除去に役立つことなどである。

4隻の2m模型による実験結果は簡単にまとめるのは無理であるが、まずディフューザ判定図については、これが大体の目安になることが判明した。しかし細目ではうまく合わない所もあり、例えば θ_L 船型には不安定現象が出ず、51年度船型に出たこと、また、RB_Sにもほとんど出なかったことなどは、肋骨線形状の特徴も判定図にとり入れることが必要であることを示している。これに関連し回流水槽の微妙な水流変化がどの程度不安定現象に関係するかを調べることも今後の課題である。また、不安定現象がほとんど認められなかった θ_L について 7m で不安定になったことは、Rn の影響の現れ方と船型との関係についてかなり柔軟な考え方が必要であることを暗示しており、研究を続けなければならない。

以上のように、本年度は不安定現象そのものについては更に理解を深めることができたが、船型及び Rn の影響について予想と若干異なる新しい資料が得られ、現象の複雑さを認識した結果になった。

なお、ここで上の結果に過去3年間の成果を加え合計4年間の船尾まわり流場の調査研究を総括することが適当と考えられるが、これはかなりの内容にわたるので、節をあらため次の5において行うこととする。

5. 不安定現象の発生機構に関する総括的考察

自航試験における不安定現象について、昭和50年度より4年間にわたり調査研究を行ってきたが、その原因についてはまだ十分に解明されたとはいひ難い現状である。しかし、本研究部会が本年度をもって終了するにあたり、4年間の調査研究により得られた不安定現象の実験事実と、それに基づいて討議された現象発生の原因についての推論をまとめることにする。まず5.1においては委員会に提出された資料の概要を述べ、5.2において不安定現象についての考察を行う。

5.1 提出された資料の概要

始めに、4年間に実施した水槽試験の内容をTable 5.1.1、5.1.2に示す。船型、実験内容の詳細については各年度ごとの報告書に述べられているので省略するが、大略は、中小型模型船による流場調査と大型模型船による自航試験及び実船関係に分けられ、それぞれの表に示されるとおりである。

不安定現象の原因究明の過程は大きく次の3段階に分けて考えられる。まず第1段階は、現象を十分把握することである。種々の実験が行われた結果、不安定現象を示す流場においては左右2種またはそれ以上の非対称流れが存在し、それが不規則に入れ替ることが見い出された。従って第2段階として非対称流場発生のための要因の検討が必要となる。第3段階は、その非対称流場が突然他の流場に変化あるいは転位する要因の調査及び流場モデルの考察である。以下において各段階ごとに分けてその概略を示すこととする。しかし、第2、第3段階については、まだ委員会として意見がまとまっている部分もあるが、今後各所で不安定現象についての資料が蓄積された場合に、その原因解明のための参考資料となるようそのまま掲載する。

(1) 不安定現象についての実験事実

4年間の実験的調査により得られた研究成果は、各年度毎の報告書に詳しく述べられているが、そのうちの主なものを列挙すると以下のようになる。ただし、特に断わらないかぎりプロペラの回転方向は右回りとする。また、便宜上、まず中小型模型によって得られたものを述べ、次に大型模型あるいは実船で観察されたものを記す。

(a) 中小型模型における不安定現象

- 1) 不安定現象は満載状態では発生しない。
- 2) スラスト大の状態で潮目は左舷側に流出し、Weは大、船尾横力は右舷向きとなる。スラスト小の状態では潮目は右、Weは小、船尾横力は左舷向きとなる。しかし、満載状態では不安定現象が発生しても潮目が不明瞭であることが多い。
- 3) スラスト大の状態では右舷の流速が大きく右舷縦渦の循環値大、船底中心線上の流れは右舷向き、右舷の圧力は小となる。スラスト小の状態では逆になる。
- 4) プロペラの回転方向が逆（左回り）の場合、スラストの大小と潮目、横力の方向及び、流速、圧力の大小の生じる舷側は逆になる。
- 5) 潮目の下、水面近くにはビルジ渦と逆方向に回転する渦（逆渦）が認められる。
- 6) プロペラ荷重が大きくなるとスラスト小の状態が出現しやすくなる。
- 7) プロペラの作動に伴い、潮目が左舷の場合、プロペラ上方の船体表面近くに左舷から見てFig. 5.1.1に示すような逆流の存在が認められる。
- 8) 左潮目の状態が持続する船型では船首を左へ2°程度斜航させると不安定現象が発生しやすくなる。右潮目の持続する船型では逆に船首を右に2°位斜航させることにより不安定現象が発生しやすくなる。
- 9) 一般に大型模型ほど不安定現象は発生しにくくなるが、2m模型では安定で7m模型で明瞭な不安定現象の発生が認められた船型もある。

- 10) 境界層吸込みによりビルジ渦の強さを変えても不安定現象への影響は少なかった。むしろプロペラ上端部へ流入する流体部分を吸込むことにより不安定現象は影響を受けるようである。
- 11) 限界流線及び表面タフトの観測によると、左潮目の場合は左右の非対称が強く左舷プロペラ上方には剥離または逆流の発生が認められる。右潮目の状態は左右が対称に近い。
- 12) 2m模型において、潮目の位置に仕切板（潮目板）を入れることにより不安定現象を一方向に凍結することができた。
- 13) プロペラ直径が変わることにより、不安定現象の変化がある。
- (b) 大型模型船及び実船における不安定現象
- 1) 7m模型船を用い自航試験、荷重度変更試験を行った結果、いずれの水槽においても船尾流場の不安定現象に関連して同様の現象が把握された。即ち、試験設備、計測装置、試験方法など夫々の水槽固有の特性に左右されることなく、船尾非対称流場が存在し、その非対称さがある頻度で左右に変化する。特にパラスト状態において明確に現われる。
 - 2) 不安定現象（非対称流場）は舵の有無にかかわらずパラスト状態で発生するが、舵の無い場合は舵付に比べて、推力、横力とも変動が大きい。
 - 3) プロペラを正規の位置より 7.5 mm 後方に下げた自航試験結果のアナログ記録によると、65% load の状態でプロペラが正規の位置にある場合、推力変動は一様な状態を示すのに対し、プロペラ 7.5 mm 後方では平均値がステップ状に変化する変動が現われた。
 - 4) 今回行われた試験の船型では、Cb の小さい船尾船型 ($C_{bA} = 0.75$) は不安定現象出現の限界にあり、やや Cb の大きい船型 ($C_{bA} = 0.77$ 、50年度船型) は推力トルクが大または小となる状態のどちらかが偏って起り易い臨界状態にあり、さらに Cb の大きい船尾船型 ($C_{bA} = 0.81$) になると、流場が推力、トルクの大きい方向に落着いていることが判明した。
 - 5) 51年度船型をベースに、65% load の奥水線付近の船尾水線の傾斜角を大きくした θ_L 船型は、full、65%、44% load の各状態とも不安定現象（二つの流場）が明瞭に現われた。この船型の船尾フレームラインの下部を削った船型では不安定現象は大幅に減少し、横力も 0 になり、パラスト状態 (65%、44%) の高速側で変動が現われる程度である。
 - 6) Cb の小さい船尾船型で船尾奥水を変えて自航試験を実施したところ、奥水の浅い所で推力の変化および船尾横力が発生した。また、船尾奥水を一定（上記の浅い状態）とし、船首奥水を変えた所、自航試験結果にそれほど大きな変化は見られなかった。
 - 7) 高速コンテナ船型では横力の挙動も安定したものが多く、肥大船型は大きな横力を出すものが多い。
 - 8) 満載状態でプロペラ荷重度を増加させると 50年度船型は寸法 (4、5、6、7、8 m) によらず W_m が減少して次第に一定値に落付く傾向を示す。しかし、 W_m の値は 6 m 以上と 4~5 m とは、はっきりと 2つの値に分れている。65% load、44% Load でプロペラ荷重度を増大させると、6、7、8 m では W_m はほとんど変化しないが 4、5 m では W_m が増大して一定値に落着く傾向を示す。44% load で 6 m は 2種の W_m を示し、プロペラ荷重度が増大すると W_m の大きい方に落着いた。
 - 9) 模型船において不安定現象の発生した船型の実船試運転では軸トルク、船体表面圧力双方に模型船で見られるようなステップ状の変化は見られず、実船での運航や操船上の異状さも認められなかった。従って不安定現象が実船で発生したとしてもその流場への影響は通常程度の外乱の影響より小さいと思われる。
 - 10) 自航要素の値や傾向には、プロペラ直径の大小によって劇的変化は生じていない。
 - 11) 7m模型船で潮目板による潮目の凍結を試みたが、不安定現象の発生している船型にもかかわらず潮目が明瞭に現われず、凍結はできなかった。

(2) 非対称流場の発生について

第2段階としての非対称流場の発生に関する考え方は、委員会資料として提出され討議されるだけで、報告書に掲載されない場合が多い。従って今後の参考のため今迄に出されたモデル、仮説の概略を各年度毎にまとめて以下に記す。

(a) 5 1年度に提出された案

- 1) 抵抗状態の船尾に存在する全渦度の循環 Γ_H の正負と、プロペラの作動による循環 Γ_P との大小関係により Fig. 5.1.2 に示すような 2 種の流場が考えられ、それがスラストの大小に対応する流場であろう。
- 2) ピルジ渦に左右非対称が発生すると、ピルジ渦の強い舷側は加速され、逆舷には剥離バブルが発生する。Kutta 条件の三次元修正。
- 3) 非対称流場の左右舷入れ換えによるプロペラ発生スラストの増加とプロペラの左右面のスラスト配分を調べた結果、スラストが大になる場合は左右のスラスト配分差が小さく、スラストが小さい場合には左右の差が大きくなる。従ってスラスト差の小さい状態（スラスト大の状態）が出現しやすい。
- 4) プロペラ吸引の非対称により右舷が強く吸引され、それにより右舷の縦渦が強くなる。その後は上記 2) により右向きリフトが発生し、右渦がさらに強くなる。逆の場合は渦の回転とプロペラ回転方向の関係（同一方向になる）によりスラスト増加が弱く、あまり発達しないため非対称が弱い。
- 5) 船底中心線近傍の流れが右舷に寄ると右舷の流量が増加し、プロペラ上部のクリアランスを通って左舷へ流れバランスを取る。この流れによりスラストは大となり右舷の渦は船体表面に近付き右舷の圧力は低くなる。

(b) 5 2年度に提出された案

- 1) 縦渦があるとスラストは右舷が大きくなり右舷の流速は大となる。その結果右舷圧力が低下し右舷の縦渦が強くなるため右舷スラストをますます増加させる。これがスラスト大の状態である。スラスト小の状態は、左舷の流速が早くなるような外乱がある場合に生じやすく、その時左舷の圧力が低くなり縦渦は左舷が強くなる。その後スラストの作用としては右舷の流速を早くするが、縦渦の作用としては左舷の流速を早くする。この差が左舷の流速を増加させればこのサイクルは持続する。しかし途中に影響量の差し引きが入るため、スラストの増加も少なく非対称も弱い。
- 2) 右舷の推力分布が大とすると右舷側のプロペラ前方の流速が大となり Fig. 5.1.3 に示されるような渦糸系が形成される。この渦糸系により左舷向きの流れが誘起され、主流とのかね合いで断面 A のようなパターンが形成される。

(c) 5 3年度に提出された案

- 1) 操縦性における不安定現象から類推すると、船尾端において Kutta の条件を満足すると左右対称の流れとなり、満足しないと左潮目になる。それに伴いスラストは小、大の状態になる。
- 2) プロペラの上半分、船体中心線近くは伴流が大きく発生スラストが大きくなるため、翼面上及び後流中の渦度が強くなり、プロペラ前方及び上方に左舷向きの流れを誘起する。
- 3) 船尾部にはプロペラの吸込により 2 次元剥離が発生しやすく、不連続面が形成され、それが潮目になる。剥離流れは外乱に対し不安定なため片舷の不連続面が大きくなつた場合、その方向に船尾端がゆがむため当て舵を取つたようになり、不連続面をますます大きくする。しかし外乱が大きな場合には、片寄つた流れを逆舷に移すことも可能である。左右舷の片寄りの発生頻度が異なる原因是、プロペラ面におけるスラストの不均一によるもので上記 2) による横流れにより左舷に剥離域が発生しやすいためである。また、伴流係数の増加は、剥離域が大きい状態では剥離域内の流体がより多くプロペラ面に流入するためとして説明できる。

(d) 54年度に提出された案

1) プロペラ後流が非対称流場の発生源であり船の存在によりその作用は強められる。船尾奥水が浅い場合は、その非対称性が水面にまで及び、左舷側の水面が上昇するためプロペラの前方に向って逆流が生じやすくなり、ある程度以上肥大化すると左舷の剥離が促進される。プロペラの吸込は前方の流れを安定化し、左右対称形に近付ける作用を持つためプロペラ荷重度が増大すると整流作用が強まり非対称が発生しにくくなる。船尾肥大度がさらに大きくなると、左舷に生じる剥離は安定し、プロペラによる影響を受けにくくなる。

(3) 非対称流場の転位について

第3段階として左右の非対称流場がどのように入れ変るか、または別の流場に変化するかのモデルについても討議されたが、いまだ定説がない。従ってここでも各委員会に提出された資料の概略を記すことにする。

(a) 51年度に提出された案

- 1) 水面近くの流れを2次元ディフューザーと考え、船体船尾形状に等価なディフューザー特性値がヒステリシスゾーンに位置すると船尾の渦系(前記2(a)1)の Γ_H , Γ_P が不安定となり流れが入れ変わる。
- 2) S.S. 1 $\frac{1}{2}$ の船底中心線上の流向を B_V としたとき、Nタイプは B_V の安定位置が1箇所、不安定現象の発生する船型は安定位置が2箇所ある。
- 3) プロペラの荷重度が初めに高い時又は回転数が高いとき右潮目、低い時左潮目になる。また、左潮目で cross-streamwise vorticity がはがれると流れが右潮目に跳ぶのではないか。
- 4) 左潮目の状態からプロペラ上部の横向き流れが進むにつれて、圧力(水量)の状態が変って対称流または右潮目の流れになり、この時スラストが小になる。

(b) 52年度に提出された案

- 1) 船尾オーバーハング部の3次元剥離により生じた剥離流が本来不安定である。また、粘性流場のパターンは解の非唯一性を示す。
- 2) 船上部の横向き流れがエネルギーの注入を行い、弱剥離→静的不安定→双安定となり、自励弛緩振動を行う。

(c) 53年度に提出された案

- 1) ピルジ渦に含まれる大きなふらつきにより左右の剥離が入れ変わる。しかし右舷側の剥離が大きい状態はプロペラ吸込による横流れの影響により安定性が弱く、左剥離になりやすい。
- 2) ナビエーストokesの方程式を適当な近似のもとに解いたところ、船尾中心線上の流れは本質的に不安定で、プロペラ作動により左向き流れが優勢になる。

(d) 54年度に提出された案

- 1) プロペラ吸込は前方の流れを安定化し左右対称形に近付ける作用を持つため、プロペラ前方の剥離域は縮小と増大をくり返す。左舷側の剥離が消滅する時右舷に転位することもある。

(4) 船型との関連性について

そのほか船型との関連性について次のような事柄が述べられている。

1) プロペラ上部のクリアランス及び船尾奥水の影響

プロペラ上部が広いと右舷から左舷への流れが短時間にバランスでき、不安定現象にならず小さなスラスト変動になる。

2) 左右舷の渦分布が適当に船体中心線に近い船型は不安定現象が発生しやすい。

3) 幅広船は不安定になりやすい。

以上、主だった特性を列記したが、短い文章で表現したため意味が不明確になったり、誤解を招く場合もおこり得るかも知れない。このような場合は原資料を参考にされたい。

Table 5.1.1 実験内容一覧表(中小型模型船) [○印:調査項目]

試験項目	4m模型船による調査												2m模型船による調査											
	船型			5年年度船型			5年年度船型			5年年度船型			東大、村立大 川重、佐世保 日本鋼管			東大、三井			東大			東大		
	航 試 試 驗	Ful	65%	44%	その他	Full	65%	44%	その他	Full	65%	44%	その他	Ful	65%	44%	その他	Ful	65%	44%	その他	Ful	65%	44%
自航試験	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
荷重変更試験	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
船尾部圧力計剖面	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
トライム変化	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
湖目親側	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
流場計測、プロペラ面	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
"、プロペラ前方	○	○	(S.S. 1/4)	○	(S.S. 1/2)					○	○	○												
流場計測、プロペラ面 トレーナー航用化アンモニ																								
"、2段タフト		○																						
"、タフトアーフ		○																						
"、油温計法																								
流場制御、仕切板			○																					
"、境界層挙動			○																					
"、斜航		○																						
花の横力			○																					
載貨状態変更	91.25, 92.5, 73.75%																							
プロペラ直達変更			○ (1p = 100, 108)																					
舵の有無			○																					
新しい自動試験法			○																					
調度計による計測			○																					

Table 5.1.2 実験内容一覧表(大型模型船及び実船)

	自航試験法の研究	実船の推進性能の研究
昭和50年度	○持ちまわり自航試験(その1)	
昭和51年度	○持ちまわり自航試験(その2) ○プロペラ前後位置の影響調査 ○舵の有無の影響調査 ○相似模型船の自航試験	○アンケート調査
昭和52年度	○船尾肥大度の影響調査 ○プロペラ直径の影響調査 ○各種船型における船首尾横力の計測	○供試船(2隻)の選定と実船試運転乗船観察 ○供試船(1隻)の模型試験 ○模型船～実船の相関の調査
昭和53年度	○船尾フレームライン形状の影響調査 ○試験状態と不安定現象との関係調査 ○流場凍結法の自航試験への適用 ○尺度影響に関する調査	○模型船～実船の相関関係の統計的調査



Fig. 5.1.1

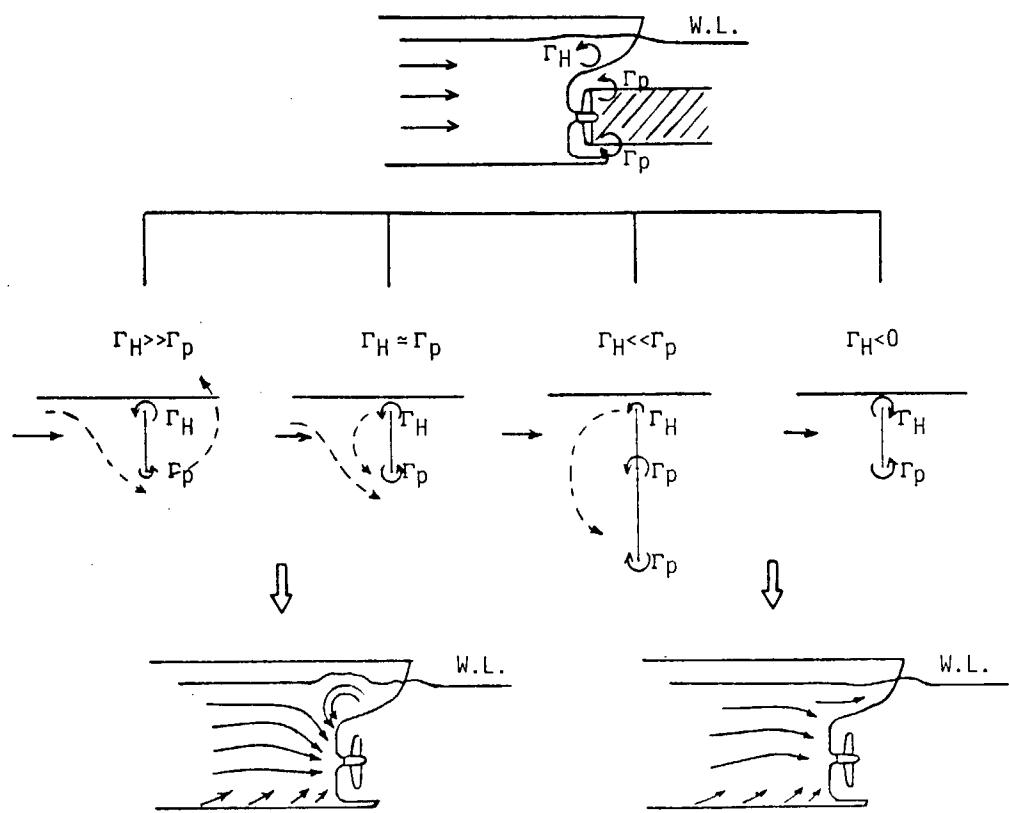


Fig. 5.1.2

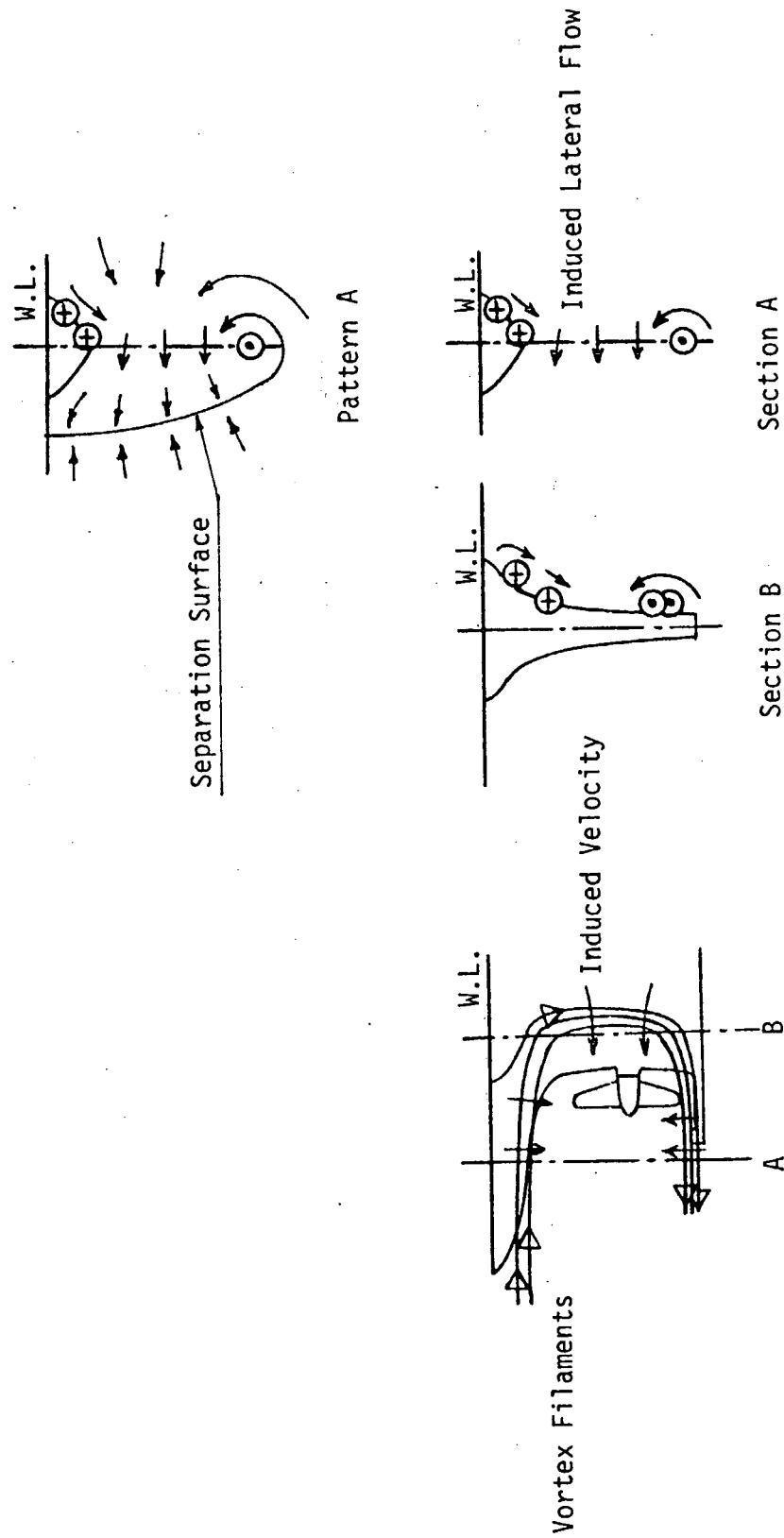


Fig. 5.1.3

5.2 不安定現象の流場モデル

本委員会の4年間にわたる研究により見出された諸現象は複雑多岐にわたっているので、これら全部を説明し得る流場機構のモデルがあれば、現象理解に大いに役立つのであろうが、完全なものを現状で望むのは困難である。

以下に述べるモデルは、現象の微妙さから十分な実証のないまま、いわば仮定の上に立って進められた部分が相当にあるが、一応不安定現象の主たる機構を説明し得るものとして、本委員会において採択されたものである。勿論、不備な点は多々あるが、これらは将来の研究にまたねばならない。

5.2.1 不安定現象のあらすじ

肥大船型の模型実験において現われた不安定現象の詳細はすでに述べられたところであるが、それらを要約して再記すれば次のようになる。

- (i) 抵抗試験では不安定と思われる現象は全然発見されていない。
- (ii) しかし自航試験、それもバラスト状態においては不安定が現われ、同一の試験状態でありながら2種の計測値が得られる。右回転推進器の場合
 - Ⓐ W、T、Q 大、YA 強 左→右
 - Ⓑ " 小、" 弱 右→左の2種である。そして両状態は非周期的に転位することが多い。
- (iii) 両状態に対する船尾流場は明らかに異っており、発生する潮目、推進器上部の横流れ、水面と中心面に近い位置に現われる逆渦（ビルジ渦に対し）は
 - Ⓐ 潮目 左、横流 強 右→左、逆渦 左
 - Ⓑ " 右、" 弱 左→右、" 右
- (iv) 船尾吃水が深い場合には、水面に潮目が現われないので、計測値には(ii)と同様の変動が発生することがある。
- (v) 限界流線にも両状態の差は明瞭で、推進器アーチャ前方の外板に、前部から来る流れと、上部から来る流れとが一線を画して区別できる区域が、片舷にのみ見られ、これがⒶ左舷、Ⓑ右舷、但し、反対舷にも推進器直上付近に小さな区域が区別できる。
- (vi) 潮目の位置に浅い仕切板を入れると、その時の流場が固定され、転位が起らなくなる。
- (vii) アーチャ上部に仕切板を入れて横流れを制止すると不安定は消失する。
- (viii) 推進器荷重度 C_T の影響は、普通の自航状態程度ではⒶの発現頻度が高く、 C_T を更に大きくすると逆転してⒷの頻度が高くなる傾向がある。

5.2.2 流場モデル

(1) 自航時船尾部における剝離の発生

水面下深くない位置にある推進器が作動したとき、中心面近傍の流線は Fig. 5.2.1 に示すようなもので、前方から来る流れと、後方からの流れとはある面 S P を境界として分離される。その速度は推進器面に近接しない限り小さいもので、($I/D = 1.0$ 、 $C_T = 0.5$ 、 $1 - W = 0.4$ としたとき水面近くで 0.03 以下の程度) 主流の局部的 W が相当大きくて、単なる速度で比べれば問題にならない値である。

従って、この推進器吸引流に主流を重ねたとすると、流れの様子は主流のみのときと余り変わらず、推進器に入る水は全部前方から入ることになり、流線は推進器論の教科書にある図と似たものになるであろう。

しかし、肥大船の船尾流れはすでに衰えており剝離寸前といってもよいから、クルーザースターンに

沿う流れは上記の境界面 S P を越えて、逆流成分のある吸引流に出会えば、剥離を発生すると考えられる。このとき水面の近くでは 2 次元剥離の図に見られるような流れになるが、水面から下るにつれて吸引流は急速に下向きの速度が増し、主流の方も船尾ビルジ渦による回転が下向きに変っているので、剥離域は下向きに伸びアバーチャ部を通って推進器面に吸込まれる。

この剥離によって、主流は剥離域の外側を廻って後方に流れるわけであるから、大体の様子はビルジ渦による回転流を剥離域の外側に移したのに近く、一方剥離域の内部は Fig. 5.2.1 の吸引流れがそのまま存在していると思えばよい。結局剥離域の内外で、何れも下向きの成分をもつとはいえ、速度も流向も違っているので、境界面は流れの不連続面を形成する。その形を正しく推定できるような資料はないが、大体は Fig. 5.2.1 の S P を前縁としふくらみをもって後方に伸びた形となるであろう。

ここで Fig. 5.2.1 の境界面 S P について一言加えたい。いうまでもなくこの面は推進器吸引流に水面の鏡像を考えて求められるものであり、(正しくは船体に対する鏡像も必要で、こうすれば若干前方に移る) Fig. 5.2.1 の S 点は水面を切る流線が垂直になった点である。それ故、推進器深度が極端に浅くない限り、S 点を少しく前後に動かしたとしてもそこの流線は垂直に近く、これを正しい S 点に戻そうとする復原性は微小である。

更に、水面近くには船体があり、それは前方ほど大きいので船体近傍の吸引流線は前方のものほど後に倒れる傾向がある、一層 S 点の移動に鈍感になる。

こんなことを細まかしく書いたのは、剥離不連続面の位置が僅かの外乱により前後に移動し易い性質をもつことをいたかったためである。

(2) 船尾吃水が深い場合と極度に浅い場合

前項の推論は本研究の母船型でいえば 6.5 % 荷重程度について行ったものであるが、本項では満載と 4.4 % 荷重の場合を考えて見る。前者では不安定が全く現われず、後者では現われはしたが 6.5 % 荷重ほどではなかった。

(i) 満載状態

吃水が深いので水面付近の吸引速度はかなり小さくて、主流に剥離を生ぜしめるに至らず、これを引金役として出来る不連続面も発生しなかったと考えられる。

しかし船型によっては深吃水でも剥離の発生が考えられる。近時よく建造されるバトックフロー型の幅広船型では、推進器上部から船尾にかけて断面が平坦になっている。このような場合には平坦面が Fig. 5.2.1 の水面と同様の効果をもち、推進器にも近いので吸引流の強さも剥離発生に十分であるから、ここが原点となって前項同様の流場が水面下で発生するであろう。後述するように潮目は不連続面が水面を切る時に現われる所以であるから、このような場合には潮目が見られないのに計測値には不安定が現われる。この型の不安定の例が報告されている。

(ii) 船尾吃水の極めて浅い場合

この場合には、水面近くで剥離が発生しても、少し下方はアバーチャーになっている。ここを乗り切って推進器面まで剥離域を運ぶには相当強い下向き速度が必要なのに、船体を離れた所では吸引流も主流もまだこの速度が不足である。このため折角発生した剥離を下方まで延長させることができず、後方に流れ去ってしまう場合が少なくないのである。吃水が浅くて剥離はよく発生しそうなのに不安定がむしろ弱まるのはこのためだと思われる。

(3) 流場の非対称発生

(i) 剥離不連続域のある船尾流れの不安定

肥大船型の船尾流場はビルジ渦の影響が大きいので、剥離の性質上避けられないこの渦の変動は、推進器上部の剥離面 S P を絶えず前後に移動させ、それに応じて不連続域も消長を繰返すであろう。もし両舷の不連続域先端の位置にある程度の前後差が出ると、不連続域の外側を曲る主流によって

発生する高圧発生の位置も両舷で前後する。その位置が何れかの舷でアーチャーを越えて前方に出るようになると、反対舷の高圧はアーチャーを通る横流れを生じ、これが前進した側の不連続域に水を供給することになって、両舷の差は益々大きくなる。これにより主流の曲りも大小を発生して、前進した大きい舷に“當て舵”をとったのと似てくる。

即ち、不連続の発生する船尾流場は本来不安定で、初期の擾乱が拡大される性質をもち、何れか一方の側に片寄った流れになろうとする。

しかし、前述のように主流は絶えず変動しているから、その変動幅が大きければ片寄った流れを反対舷に運転させる場合も起り得るわけで、他に原因がなければ非対称は左右舷同じ確率で発生するであろう。

(ii) 大きい不連続域が左舷に発生し易い理由

本委員会での実験によると、大きい不連続域は左舷に発生する頻度が高い。その理由は次のように考えられる。

一般に推進器面の伴流値 W は上部中心線 $\theta = 0$ 付近が平均の W 値に比して高い。そのため推進器翼がここを通過する時、翼を代表する循環は平均値より大きくなり、いわば局部的なコ字型の渦が加わったのと同等である。右回転推進器としてこの渦により誘導される速度の方向は渦の前面および上方において左舷から右舷に向き、この流れが推進器アーチャーを通る。

この流れは弱いものであろうが、もし左舷の不連続域が大きい場合は當て舵の作用を強め、非対称の発達を助勢する方向であり、逆に右舷が大きい時は非対称を抑止する作用がある。これが左舷の不連続域発生の頻度を高くする引金役であるが、もう一つこの傾向を強める次の作用が残っている。

それは、もともと不連続域内の水は推進器吸引流であるから $W \geq 1.0$ であって、これが推進器に入ればそこを通過する翼は大きい荷重を受けもち、上と同様の機構でアーチャーに右から左へ向う横流れが発生する。異なるところはその強さが不連続域の大小に比例することである。そのため左舷不連続域に対しては加速度的にこれを強めるが、右舷に対する弱化作用はさき細り的である。細かくみればこのような差はあるが、流場の非対称を促進することに変りはない。

以上を要約すれば、不連続域の発生する船尾流場は本来不安定の性質をもつが、横流れがあるために左舷の不連続域は大きく成長しようとし、右舷は小さくなろうとする傾向がある。従って左舷のときは主流の変動が大きくて転移し難く、右舷は小さい変動でも転移し易い。またアーチャーに仕切板を入れると横流れが妨げられるので、流場の不安定を根本から取り去るもので、実船にも応用できる有効な手段であろう。

(4) W 、 T 、 Q および Y_A および潮目

(i) 不連続域がない場合の流場

準備として不連続域がない場合を考える。推進器に主流が流れこむ肥大船流場は Fig. 5.2.2 のような回転速度 V_θ と $(1 - W)V$ (V は船速) および推進器吸引速度 V_p とが合成されたものである。但し V_p は座標成分に分けないで話を進めるので、没水深度が浅い場合を除けば大体 θ に無関係とみてよい。

この三速度を合成するとき、円周方向に領域 1、2、3 と分けると、推進器前方では

領域 1 ; V_θ が V_p を強化

” 2 ; V_θ の影響小

” 3 ; V_θ が V_p を弱化

する。従って流入する水は領域 1 からは多量に、領域 3 からは少量にということになる。わかり切ったことであるが、このことが W の分布図から W_n を推定する場合に影響し、形式的に求めた W_n よりも W_e が大きくなる原因である。

(ii) 不連続域がある場合の流場と潮目

上のような流場に剝離不連続域を入れると、前方からの主流はこれを避けて流れるから、 V_f の領域は側方に押し出される。そのため領域1の水は余り変らずに入るけれども、領域2の水は不連続域の厚さだけ減少し、代りに不連続域の $W \approx 1.0$ の水が流入する。

前節の説明のように、不連続域が左舷のときは厚さが大なので、その舷の W_n は大幅に増加し、右舷の場合は薄いのでさしたる増加がない。これが実験に現われる We の大小の二状態を説明している。

主流の回転による伴流の見掛けの変化は領域2の V_f によって判断される。模型船なら左舷不連続域の時は推進器と同方向の V_f 範囲が減じて、 W の見掛けの減少を軽減するであろう。その量はとにかく、 W 増加の一因ではある。

不安定の現われる流場には、船尾の中心線近傍の何れかの側から僅かに末広がりの条が見られ、これを潮目と呼んでいる。これは不連続域の上端が水面に達してできたものと考えられる。潮目に浅い仕切板を入れると不安定流場が固定される実験結果があるが、不連続域が固定されたからだと思えば理解できる。

(iii) T、Qおよび船尾横力 Y_A

W の変化が上記のように説明されれば、 T と Q がそれに応じて大小に変ることは当然で説明の要はない。

Y_A の発生も流場の非対称から容易にわかる。不連続域の大きい舷では主流が大きく曲げられ、その付近の圧力が増加するからである。

但し計測される Y_A には Q の配分が推進器軸の上下で異なるための影響も含まれている筈である。殊に左不連続域なら左上半部の大きな W により Q も大きく、その反作用で推進器は左に押される。この力は主流の曲りによる圧力増加とは逆なので、 Y_A には両者の差が計測されていることになる。

(5) 不連続面の構造モデル

この件については決め手となるような計測が少ないので、想像の産物に止まるが一応図示したのが Fig. 5.2.3 である。図は左舷不連続域が大きく発達したものと想定してある。

S.S. $1/4$ より少し前方まで前進した剝離から始まって、不連続域の下部はボス部を覆うほどになっているが、これは限界流線の資料に倣ってある。不連続域の下半分は推進器に吸い込まれ、上半分は後方に伸びている。しかし、その側表面をなす不連続面はその下縁から域の内方に巻きこんで渦を形成するようになる。この渦はビルヂ渦と反対で、実験で船尾後方のタフトグリッドにより知られている反対渦が、これに相当すると思われる。モデルに関する他の事柄は図より判断されるであろう。

(6) 推進器荷重度 C_T の影響

以上述べたところは本委員会で実験された程度の船型と C_T の範囲についてである。しかし、いくつかの研究機関から提供された資料の中には、 C_T を大きくすると流場の型の発現頻度が逆転し、 W 、 T 、 Q の小さい型が多くなる傾向があるようである。ここではこのような傾向が起り得るかどうかを考察する。

これまでの説明は推進器吸引流のため主流が剝離し、これが大きい不連続域形成の原因となって流れの型を大きく変化させることになっている。つまり出発点は吸引流により主流が剝離するか否かにかかっているので、このことが C_T の大小に如何に関係するかがまず問題になる。

但しここでの C_T の大小はその数値ではなく、主流がどれほど剝離し易くなっているかとの相対的意味での大小である。一般には肥大度の大きい船型なら C_T 値は小さくても剝離するであろうし、その逆もいえるからである。

まず、 C_T の極めて小さい時は殆んど影響がないから考慮の外におき、また中程度の場合は剝離が発生するとして今迄述べたから再度触れる必要はない。問題は C_T が大きい時にどうなるかである。

(i) C_T が大なる場合

このときは Fig. 5.2.1 の吸引図の型が強固になって、少々の外乱によっては不連続面が前後に移動し難くなるであろう。吸引流線の復原性が増して境界面は定位置を保とうとするし、主流も境界面前方の吸引流により加速されて安定化するからである。そのため一方の不連続域がアーチャーの前方まで進むために起る流場の根本的な不安定性が除かれ、推進器荷重の不均一による横流れはあるものの、左舷に大きく発達する不連続域は発生しない。もはや推進器に $W \approx 1.0$ の水を大量に送りこめるほどの流場変化は現われ得ないことになる。たかだか両舷の小さな不連続域が僅かな変動を繰返すのみに過ぎないものと思われる。実質的には不安定が消失したといってよい。

以上の想像に誤りがないなら、始めに述べた傾向を説明している。

(ii) C_T が中と大の中間程度の場合

C_T が中程度なら不安定が現われ、大ならそれが消失するとして、その中間程度の場合を考えると、既に知られている特殊な不安定状態を説明できる。

中間程度の C_T で左舷に大きい不連続域が発生したとしよう。このため左舷の W は大きくなり、推進器の左側の推力が増す。仮りに推進器全体の推力変化率 $\Delta T / T = 0.1$ とすると、左側だけの $\Delta T / T \approx 0.2$ で相当大きな変化である。そのため左舷では吸引流線の強化により前方に伸びていた不連続域は定位置の近くまで戻る。そうすると W も小さい値に戻るから推力の増加が止み、不安定が恢復して不連続域は再度前進する。これで最初の状態に戻ったから、また同様の変化を繰返すであろう。

この場合の不安定は周期的ともいえる型をとるから、造船技術センターの分類による B 2 あるいは B 3 型に相当するものであろう。

(7) 不安定の尺度影響

重要な項目でありながら、最も不明のまま残された問題であって、以下に述べることも甚だ大きな見方にすぎない。今後より詳細な考究により解明されることを期待する。

(i) 不安定流場の尺度影響

問題を簡単にして、実船にも不安定が発生するとしてその流場を模型船と比較すればどう異なるかを考える。

まず不安定発生の出発点である推進器の吸引流場に対してはレイノルズ数 R_n の影響は無視してよからう。影響があるのは主流の粘性領域の厚さで、実船は模型船の $1/2$ 程度の相対厚さになる。しかしこのために主流が吸引流と組み合わされて生じる剥離が影響を受けるとは境界層理論からいっても考え難い。理論によれば、 R_n の大小によって剥離位置は変らず、変るのは層流剥離のときの初めの角度が R_n が大きくなると減じる点である。乱流の場合は明らかでないが、仮に層流と似たようになるとすれば不連続域の厚さは実船が薄い。数値は書き難いが、まず $1/2$ 程度といったところであろう。

次は船尾の横流れである。実船の方が平均の W 値が低いだけ推進器上部の W の相対値は大きいが、その域幅は狭いので、差し引きすると横流れの強さは模型と大差ないことが簡単に計算される。

この横流れにより実船でも不連続域が成長するが、その厚さは薄く、それに比例して $W \approx 1.0$ の水量が減じる。前述の厚さを使えばこの水量も $1/2$ となる。この様な考え方が許されるなら、実船の W 分布は、不安定のない普通の肥大船の推定法と同じ手法により模型の分布図より推定できる理屈である。理屈がそうなら実際には分布図など求めなくても、 W_m から W_s を推定する係数を用いても大過ないであろう。勿論、 W 、 T 、 Q の小さい流場に対するものであって、甚だ常識的な結果である。

(ii) 不安定の発生条件に対する尺度影響とその対策

前項では実船に不安定が起るとして、流場を模型と比較したが、本項ではある自航条件で模型に不安定が発生した時、対応する条件で実船にも発生するか否かを考える。このことは設計者にとって最も関心のもたれる点であろう。実例が乏しいので想像だけのことにしておきたい。

(6)で C_T の影響を考え、これが大きくなると不安定が消失することを述べた。このような C_T の影響があるとしたとき、現在普通に行われている模型の自航試験は果たして実船の状態に対応しているであろうか。自航試験の目的が自航要素のみを求めるにあるのなら問題はないが、不安定現象までを調べるとなると問題がある。

普通の自航試験では SFC を行って推力を相当値に修正するから、

$$C_T = T / \rho V^2 D^2$$

で見る限り模型と実船とで C_T は同一である。しかし不安定現象に対しては船尾だけの流場が問題になるのであるから、 C_T を揃えても流場は対応していない。その対応は無理であるが、せめて V の代りに $(1 - W)V$ を使いたい。この差は大きくて模型の C_T は 2 倍ほどになる。

このことを考慮すると普通の自航点付近で模型に不安定が出ても、実船では実質的な C_T が小さくて発生しないかも知れず、逆に C_T の大きい船の自航試験で模型は安定していたのに、実船は不安定であるかも知れない。

このような危険を避けるためには、荷重変更試験を加えて不安定をチェックすべきである。そして実質的な C_T 付近で不安定が出るようなら、実船にも発現の可能性ありとみて対策を講じ、許されるならアパーチャー上部に仕切板を入れて不安定を根本から除くのが最も確実であろう。

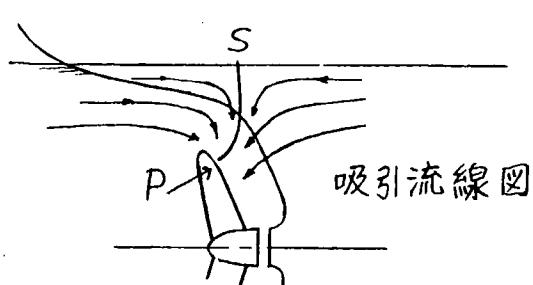


Fig. 5.2.1

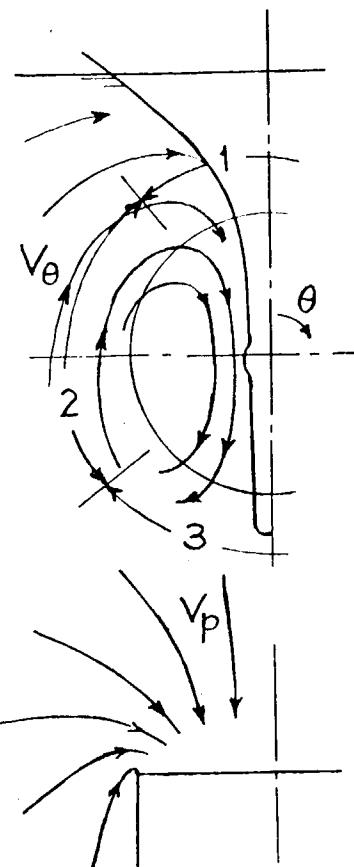


Fig. 5.2.2

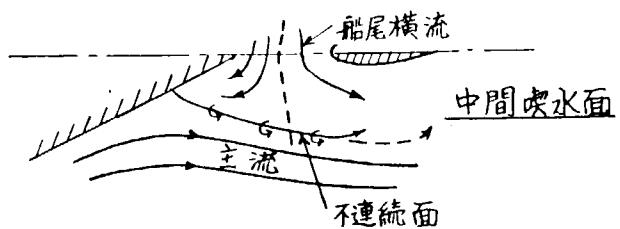
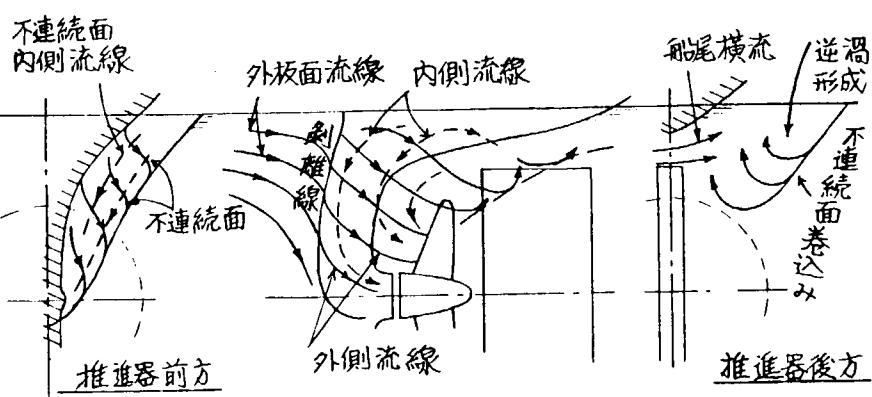
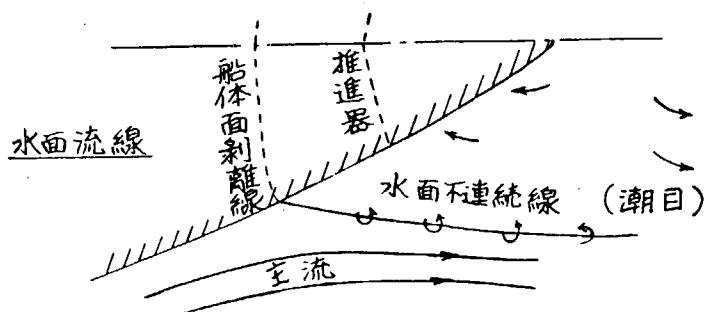


Fig. 5.2.3

6. 結 言

本年度で4年間の委員会の研究を修了した。元々本委員会の研究題目は従来の研究部会とは若干異なる面をもっていたように思われる。それは現象が全く新しい型態のものであり資料がないこと、従って現象自体の正しい把握が必要であると同時にその基礎をなす流場の機構が明らかにされなければ、実船状態に対する適切な判断、推定が不可能であるという所にあった。そのような観点から委員会では不安定現象の現象自体の調査と確認を出発点とし、流場の構造、不安定機構の説明に多大の努力を払った。その結果は本報告書を含む各年度報告書に述べられているとおりで、結論を一言でいえば、不安定現象の現象的概略の把握と流場機構の定性的説明はなし得たと考えられる。すなわち不安定流場の発現状況とその特性、推力変動、圧力分布状況、流場と推力、横力の関係などが把握され、又その発生原因は、剝離寸前の船尾流場とプロペラ作動との相互作用によるものであること、その際軽荷状態が最も危険率が高いことなどが明らかにされた。従って研究としてはかなりの成果をあげ得たと考えている。

しかしこれらはいわゞ大筋であって、詳細については未解決のまゝ残っている所も多い。その主なものは次の3点、すなわち、(i) 船型（載荷状態の差も含め）との関係 (ii) プロペラ荷重度との関係 (iii) 尺度影響に対する定性的並びに定量的把握にあると考えられる。これらが解明されなければ、前述の成果をそのまま、現実の船型設計に応用できないことは明らかであり、今後引き続いて研究すべき重要な項目と思われる。将来再び委員会が組織され、これらを解明する機会が得られることを期待し、報告の結びとする。